DIRECTION ENVIRONNEMENT

RECHERCHE SUR LES AVANTAGES À UTILISER LE COMPOST

Dossier CRIQ 640-PE27158(R1)

Rapport final

Rapport présenté à :
RECYC-QUÉBEC
7171, rue Jean-Talon Est, bureau 500
Anjou (Québec) H1M 3N2

MONIQUE CHARLAND
CONSEILLÈRE EN DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE

SOPHIE CANTIN, AGR., M.SC.
RESPONSABLE DE PROJET

MARIE-ANDRÉE ST-PIERRE, MICROBIOLOGISTE, M.SC.
COLLABORATRICE

LAURENT CÔTÉ, ING. ET AGR.
CHEF DE GROUPE

SAINTE-FOY, LE 24 OCTOBRE 2001

CRIQ
CENTRE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE DU QUÉBEC

RÉSUMÉ

Dans le cadre de son Programme de soutien au compostage, *RECYC-QUÉBEC* a confié au Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) la réalisation d'une étude sur les avantages à utiliser le compost. L'objectif premier de cette étude est d'identifier tous les bénéfices agronomiques associés à cette forme de mise en valeur des matières putrescibles. Ainsi, le cœur de l'étude consiste en une revue de la littérature et une analyse de la documentation, publiée entre 1995 et 2001, concernant la mise en valeur des matières résiduelles sous forme de compost. Les bénéfices physiques, chimiques et biologiques sont abordés. De plus, les considérations pratiques concernant l'application des composts, les bénéfices autres qu'agronomiques du compost ainsi que les autres utilisations potentielles de ce produit sont brièvement passés en revue. Finalement, un parallèle et une analyse entre la quantité d'engrais et de compost écoulés au Québec sont présentés, afin de donner un aperçu de l'utilisation potentielle des composts au Québec comme substitut aux engrais minéraux.

BÉNÉFICES AGRONOMIQUES

C'est en améliorant les propriétés physiques et chimiques et en stimulant l'activité biologique que le compost favorise la fertilité des sols. Les composts sont bénéfiques aux sols et aux végétaux principalement grâce à leur contenu en matière organique. L'avantage principal à utiliser le compost est donc directement relié à son contenu en matière organique et à sa capacité à générer de l'humus. La matière organique a des implications directes sur plusieurs bénéfices associés au compost qu'ils soient d'ordres physique, chimique ou biologique.

Améliorations d'ordre physique

Le compost améliore les propriétés physiques des sols en favorisant la formation d'agrégats, ce qui améliore la structure, diminue les risques de compaction et réduit l'érosion éolienne et hydrique. Il augmente également la capacité de rétention en eau des sols, ce qui permet une meilleure résistance des sols à la sécheresse et optimise la porosité, les échanges gazeux, le drainage, l'aération et le réchauffement des sols. Le compost améliore également les propriétés mécaniques du sol, soit sa plasticité, son adhésivité, le gonflement et le retrait des argiles ainsi que sa densité apparente.

Stabilité structurale et contrôle de l'érosion

L'amélioration de la stabilité structurale est une mesure agronomique d'importance. La structure du sol réfère au mode d'assemblage des particules minérales et organiques.

Une bonne structure, constituée de gros agrégats, facilite et réduit le travail du sol et assure sa fertilité et sa conservation. Comparativement aux fertilisants minéraux, les composts favorisent le développement et l'établissement d'une meilleure stabilité structurale. En stimulant la microflore du sol, ils ont une influence positive sur la formation d'agrégats. En effet, dans les processus de formation d'agrégats, les petits agrégats du sol (0,25 – 1 mm) se lient ensemble pour former les gros agrégats (> 5 mm) et ce, grâce aux mucilages microbiens, aux filaments de champignons et aux polysaccharides issus de la décomposition de la matière organique. La formation de gros agrégats améliore la structure du sol, ralentit l'érosion et réduit le lessivage. La stabilité structurale réduit également les risques de compaction des sols et permet une augmentation de la croissance et de la respiration du système radiculaire des plantes.

Réchauffement

Le compost, appliqué au sol, renouvelle ses réserves en humus. Par leurs couleurs foncées, les humus rendent les sols plus absorbants de l'énergie incidente. Ces sols ont donc tendance à se réchauffer plus rapidement, en accumulant la chaleur des rayons non réfléchis et subissent moins d'écarts importants de température.

Capacité de rétention en eau et porosité

L'application de compost a également des effets bénéfiques sur la capacité de rétention en eau du sol amendé. Il augmente la capacité de stockage de l'eau utilisable par les plantes, ce qui constitue un atout considérable, pour le sol, en période de sécheresse. L'entretien de la matière organique du sol, par l'addition de compost, permet également le maintien d'une bonne porosité, qui améliore le drainage naturel des sols, sans modifier leur réserve en eau utile, et facilite les échanges gazeux.

Améliorations d'ordre chimique

Les améliorations d'ordre chimique apportées à un sol, suite à l'ajout de compost, sont reliées à la composition chimique du compost, aux éléments qui le constitue et qui en font un produit de qualité. L'application de compost au sol augmente la teneur en carbone, en azote et en matière organique de celui-ci. Les composts contiennent les éléments majeurs (N, P, K), ainsi que les oligo-éléments essentiels à la croissance des plantes, ce qui augmente la fertilité des sols.

Le compost, de par son fort coefficient isohumique, apporte aux sols une quantité importante d'humus qui se minéralise et libère des éléments minéraux.

Capacité d'échange cationique et anionique

L'application de compost augmente généralement la capacité d'échange cationique (CEC) des sols. La CEC joue un rôle important dans la croissance des végétaux car elle détermine la quantité d'éléments nutritifs disponibles aux plantes sous forme de cations échangeables. La capacité d'échange cationique est reliée aux complexes argilo-humiques du sol que le compost contribue à former. Il réagit et forme avec les colloïdes minéraux, par l'intermédiaire des cations (Ca^{++}, Fe^{3+}, Al^{3+}), des complexes argilo-humiques responsables de l'amélioration des propriétés physiques et chimiques du sol. Ces complexes sont composés d'un noyau argileux saturé par des molécules organiques. Les cations sont fixés sur les complexes de façon à créer un équilibre avec la solution du sol. Le prélèvement des éléments par les plantes entraîne un relarguage de cet élément à partir du complexe argilo-humique qui fixera d'autres cations pour maintenir l'équilibre. Ces complexes agissent donc comme des réservoirs d'éléments nutritifs. Au niveau des anions, entre autres les nitrates et les phosphates, ils peuvent également être fixés par le biais de sites positifs en périphérie des complexes argilo-humiques.

Effet sur le pH

Le compost tend à augmenter le pH des sols acides en raison des bases échangeables (Ca, Mg, K, Na) présentes au niveau des complexes argilo-humiques. Ces complexes sont aussi responsables du pouvoir tampon du sol, de sa capacité à résister aux variations de pH.

Disponibilité des éléments

L'azote est essentiellement sous forme organique dans les composts et est minéralisé (ammonification et nitrification) lentement pour devenir disponible aux plantes qui l'utilisent surtout sous forme de nitrates. La disponibilité de l'azote au cours de la première année de culture suivant l'application de compost est très variable. La minéralisation varie selon les intrants utilisés, le rapport C/N du compost et le pH.

Au cours du compostage, le phosphore et le potassium demeurent principalement sous une forme inorganique. Leur disponibilité dépend donc davantage des réactions de fixation de ces éléments que de la minéralisation de la matière organique. Le compost fait en sorte de conserver les éléments minéraux et de les libérer lentement.

Accroissement de l'efficacité des fertilisants chimiques

L'utilisation de composts en combinaison avec des fertilisants chimiques permet de réduire le taux d'application de ces fertilisants. Le compost contribue à combler une partie des besoins en éléments nutritifs et il a un effet positif sur l'absorption des minéraux. Lorsque la nutrition minérale est convenable, cet effet est encore plus marqué. Le compost accroît donc l'efficacité des fertilisants ajoutés.

Chélation et disponibilité des oligo-éléments et des métaux lourds

Plusieurs oligo-éléments sont chélatés en présence d'humus sous forme d'un complexe organo-métallique. Cette fixation est réversible et permet aux oligo-éléments d'être disponibles aux plantes.

D'autre part, les composts contiennent parfois des métaux lourds. La plupart du temps, les apports au sol ne font pas en sorte que le prélèvement par les plantes est augmenté. Ceci est dû à la présence des microorganismes du sol et à la matière organique qui fixent ou forment des chélats avec les métaux lourds, à l'intérieur de complexes organiques. De plus, le calcium et le pH, souvent alcalin, du compost font en sorte de rendre les métaux non disponibles aux plantes. Il est important de mentionner que la présence de métaux lourds dans un compost peut être dommageable aux plantes lorsque les conditions du sol (pH, texture) permettent la solubilisation et la disponibilité des métaux. D'ailleurs, la norme canadienne sur les composts (CAN/BNQ 0413-200/97) mentionne que les composts de type B, en raison de leur teneur en éléments traces, doivent porter une mise en garde dans leur mode d'emploi afin de limiter les doses utilisées. Il faut donc être prudent sur la question des éléments traces dans le compost.

Améliorations d'ordre biologique

Le compost stimule l'activité biologique des sols. Par son apport en matière organique, le compost fourni une source d'éléments nutritifs aux microorganismes présents dans le sol, favorisant ainsi leur croissance et leur développement. De plus, le compost inocule le sol de milliards de microorganismes diversifiés. Le compost accroît ainsi la biodiversité du sol, contribuant à des phénomènes tels que la phytoprotection des plantes contre certaines infections et la lutte aux mauvaises herbes.

Stimulation de la microfaune

Le compost agit sur la biodiversité du sol où il est appliqué. En effet, étant issu d'un processus biologique de transformation des résidus organiques putrescibles, le compost contient une biomasse importante et abrite des populations microbiennes diversifiées composées de bactéries, de champignons et d'actinomycètes.

De plus, le compost représente une source nutritive minérale et organique importante pour la microfaune et les végétaux. Cet apport stimule les microorganismes présents dans le sol, favorise les activités enzymatiques bénéfiques de même que les cycles biologiques.

Phytoprotection

Les microorganismes pathogènes s'attaquant aux plantes constitue l'une des trois (3) principales nuisances de l'agriculture, les deux autres étant les insectes et les mauvaises herbes. En 1995, il a été estimé que les maladies causées par la présence de pathogènes ont été responsables de 12 % des pertes agricoles dans le monde entier.

Plusieurs études démontrent que les végétaux recevant un amendement organique comme le compost ont tendance à être moins sujets aux maladies fongiques et aux attaques d'insectes. La présente étude relate plusieurs exemples où l'utilisation de compost a permis de réduire l'infection des cultures par les pathogènes.

Les mécanismes d'action du compost assurant le contrôle de certains pathogènes associés aux plantes sont :

- le mycostatisme ou le bactériostatisme (inhibition directe de la germination des spores);
- la lyse (destruction des mycéliums des agents pathogènes);
- les actions de type antibiotique (émission de substances organiques spécifiques et toxiques);
- la compétition pour l'espace vital et pour les éléments nutritifs;
- la prédation et le parasitisme.

Ces effets suppressifs sont le plus souvent de nature microbiologique, en relation avec les populations microbiennes apportées par le compost. Comme l'ajout de matière organique au sol augmente et stimule la biomasse microbienne, les populations bénéfiques de bactéries et de champignons entrent en compétition (espace, éléments nutritifs) avec les espèces pathogènes. Les substances humiques seraient la fraction active du compost pour le contrôle biologique des pathogènes. De plus, l'ajout de compost augmente également la vigueur des plantes, entraînant naturellement une meilleure résistance aux infestations, aux maladies et aux conditions adverses.

Il existerait deux (2) types de mécanismes biologiques contrôlant les infections au sein des composts : le contrôle général et le contrôle spécifique. Le contrôle général est dû à l'activité importante de la microflore générale du sol et du compost qui compétitionne les pathogènes pour les éléments nutritifs et/ou produit des antibiotiques réduisant la

croissance de ces pathogènes. Ce type de suppression est efficace contre les pathogènes incapables de se faire de grandes réserves d'éléments nutritifs et dépendants des sources de carbone externes (hétérotrophes).

La suppression spécifique, quant à elle, est contrôlée par un ou quelques microorganismes spécifiques. Ces derniers font de l'hyperparasitisme sur le pathogène ou induisent une résistance systémique à la plante contre le pathogène, telle une vaccination.

Les microorganismes bénéfiques, présents dans les composts, induiraient chez la plante un système de résistance contre certaines maladies. Lorsqu'une plante est infectée par un pathogène, celle-ci mobilise alors son système de défense, mais il est souvent trop tard pour contrer l'infection. Les plantes cultivées en présence de compost semblent avoir un système de défense continuellement en alerte contre les pathogènes, réduisant ainsi les risques d'infection. Un système de résistance serait spécifique à un pathogène donné.

Lutte aux mauvaises herbes

La présence de mauvaises herbes dans les cultures réduit la croissance et la qualité de celle-ci par compétition pour la lumière, pour l'eau et pour les éléments nutritifs. L'application de compost mature peut être envisagée pour le contrôle des mauvaises herbes. Un compost mature et de qualité a l'avantage de ne pas nuire aux cultures, comparativement aux herbicides et aux résidus organiques frais, et de ne pas avoir d'effet négatif sur l'environnement.

Le contrôle des mauvaises herbes par le compost est efficace en autant que le processus de compostage se soit déroulé adéquatement. La phase thermophile est nécessaire afin d'éliminer les graines de mauvaises herbes pouvant être présentes dans les intrants. Un compost dont la température ne s'est pas suffisamment élevée ou dont la phase thermophile n'a pas été de durée suffisante peut propager des mauvaises herbes.

Effets sur les rendements

L'augmentation des rendements des cultures fait appel à une amélioration générale des conditions physiques, chimiques et biologiques des sols. Il s'agit de l'ultime avantage agronomique à utiliser le compost. Des centaines d'études ont été effectuées sur ce sujet. Le terme « rendement » peut ici signifier période de floraison plus longue, croissance plus rapide, production plus abondante, etc., et ce, pour des applications en champ, en plate-bande ou en serre. Par exemple, le compost fait en sorte d'augmenter la respiration racinaire grâce à une meilleure structure du sol, de stimuler la croissance, d'augmenter le rendement en matière sèche, la précocité et la résistance, d'apporter une

source d'éléments nutritifs variés (éléments majeurs, oligo-éléments), activateurs de croissance et microorganismes bénéfiques et inhibiteurs antiparasitaires. L'effet d'une application de compost s'échelonne sur plusieurs années. Des applications annuelles ou pluriannuelles, régulières permettent de diminuer les doses d'engrais et compensent une fertilisation souvent incomplète sans elles. Dans les sols fertiles, les végétaux préfèrent puiser leur nourriture dans les réserves organominérales plutôt que dans les engrais. Dans les sols nourris avec des fertilisants organiques et minéraux peu solubles, les plantes développent un système racinaire abondant et très ramifié par rapport aux mêmes plantes poussant sur des sols recevant des engrais solubles.

L'humus agit directement sur la physiologie des végétaux en réduisant la transpiration et la consommation d'eau par unité de matière sèche, en augmentant la respiration racinaire et la photosynthèse, en améliorant l'efficacité des métabolismes internes, en stimulant la formation et la croissance des racines et des tiges et en augmentant le rendement et la résistance des végétaux. Les composts, en améliorant l'ensemble du système sol-plante, permettent de diminuer les besoins et par conséquent, les coûts consacrés aux engrais chimiques.

CONSIDÉRATIONS PRATIQUES

Certains autres aspects doivent être considérés afin d'optimiser les bénéfices du compost associés à la fertilité des sols. Que ce soit le type de compost, la période d'amendement, la méthode d'application, le taux d'application ainsi que le type de sol, tous ces paramètres ont un impact important sur les effets bénéfiques du compost.

La composition des composts est très variable et est reliée aux intrants utilisés. Ainsi, les effets à court et à long terme des composts sur la disponibilité des éléments nutritifs varient d'un compost à un autre. Des analyses chimiques du contenu en carbone total, en azote, en phosphore et en potassium permettent d'obtenir des informations concernant le potentiel de disponibilité de ces éléments dans un compost donné.

La période d'application du compost peut également influencer les effets de ce dernier au niveau du sol. La période idéale d'application des composts n'est pas vraiment définie. Pour obtenir le maximum d'effet des éléments fertilisants solubles du compost, l'application doit se faire au printemps. Toutefois, l'application de compost immature précédant le semis peut occasionner des dommages dus à la présence d'acides organiques au sein de ces composts et à la possibilité d'immobilisation d'azote. Par ailleurs, l'application du compost à l'automne permet une meilleure minéralisation de ce dernier.

Les méthodes d'application des composts ont été évaluées dans de nombreuses études. Certaines études concluent que la façon d'appliquer le compost ne semble pas influencer son efficacité. D'autres études différencient les méthodes d'application et les effets de celles-ci sur le sol. En effet, l'application en surface du compost favoriserait l'amélioration de la structure des sols et réduirait les phénomènes de lessivage et d'érosion, comparativement à la méthode d'incorporation des composts. L'application en surface du compost permettrait également d'éviter la compétition pour l'azote entre la plante et les microorganismes dans la zone racinaire. Par ailleurs, l'incorporation des composts (25 à 27 cm) assurerait une meilleure productivité.

Le taux d'application des composts peut varier mais se situe généralement entre 25 et 100 t/ha. Ces taux semblent combler les besoins en azote des cultures, sans nuire à l'environnement. Des taux d'application annuels entre 25 et 100 t/ha doivent toutefois être bien contrôlés afin d'éviter une accumulation excessive d'un élément dans le sol, causant un déséquilibre dans la nutrition des plantes. Une application excessive de compost peut, de son côté, nuire aux propriétés physiques et chimiques des sols (teneur en eau excessive, contenu en métaux lourds trop élevé, etc.). Il semble également que l'application de plusieurs petites quantités de compost durant l'année est préférable à l'application d'une importante quantité, une seule fois par année.

Finalement, la texture, la teneur en oxygène, la teneur en eau, le pH et la température du sol influencent également les effets d'un compost.

AUTRES BÉNÉFICES

Les bénéfices agronomiques constituent le point de mire de l'étude. Toutefois, il existe également des bénéfices environnementaux, économiques et sociaux associés au compostage et au compost. Au niveau des bénéfices environnementaux, notons la diminution des volumes de résidus organiques à éliminer. Une diminution de la quantité de matières putrescibles à éliminer entraînerait des impacts positifs liés aux lieux d'enfouissement sanitaire soit, l'extension de la durée de vie utile de ces sites qui sont de plus en plus coûteux et difficiles à implanter ainsi que la réduction des risques environnementaux, reliés aux lixiviats, pour l'eau de surface et souterraine. De plus, la diminution de l'enfouissement des matières putrescibles signifie une réduction des quantités de méthane produites, donc la protection du climat. Le méthane est effectivement 63 fois plus dommageable que le dioxyde de carbone produit lors du compostage. De façon globale, le compostage implique une réutilisation saine des résidus organiques en les valorisant et en les réintroduisant dans le milieu. Également, le sol arable est prélevé en plusieurs endroits pour la fabrication de terreaux. L'utilisation accrue des composts diminuerait ce besoin et conserverait cette couche de sol de qualité.

Les bénéfices économiques reliés à la pratique du compostage sont, entres autres, en lien avec la durée de vie prolongée des lieux d'enfouissement sanitaire. Des économies sont effectuées également par les municipalités au niveau des coûts de collecte, de transport et d'élimination des déchets et par les producteurs agricoles au niveau des montants consacrés à l'achat d'engrais chimiques.

De plus, au Québec, le compostage est une industrie en plein essor. La fabrication et la vente de composts font partie des activités économiques québécoises et sont sources d'emploi.

AUTRES UTILISATIONS

Les utilisations potentielles du compost sont multiples. Outre en agriculture et en horticulture, les composts peuvent être utilisés dans des programmes de revégétation et de biorestauration de sites dégradés ou contaminés, pour la stabilisation de pentes, comme milieu filtrant en biofiltration ou comme absorbant. Bref, les composts peuvent être utilisés pour améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols altérés ou autres matrices. D'autres applications du compost, moins répandues par contre, sont également possibles telles que l'utilisation du compost comme absorbant et comme combustible.

UTILISATION POTENTIELLE DES COMPOSTS COMME SUBSTITUT AUX ENGRAIS MINÉRAUX

En connaissant les quantités d'engrais minéraux écoulées chaque année au Québec ainsi que les quantités de compost produits annuellement et en utilisant une formulation moyenne, en azote, en phosphate et en potasse, pour les composts, il a été possible d'évaluer la quantité de compost qui serait équivalente pour ce qui est des éléments majeurs (N – P_2O_5 – K_2O), aux quantités totales d'engrais écoulés annuellement au Québec.

Ainsi, en supposant que les composts utilisés au Québec possèdent en moyenne une teneur en eau de 60 %, il aurait fallu utiliser 16 077 333 tonnes de compost (base humide) pour combler les 96 464 tonnes d'azote minéral achetées au Québec en 1998. Pour combler les besoins de 58 314 tonnes de phosphate minéral, la quantité de compost requise aurait été de 9 719 000 tonnes sur base humide alors que les besoins de 68 540 tonnes de potasse minérale auraient nécessité l'utilisation de 17 135 000 tonnes de compost.

Ces chiffres sont basés sur plusieurs hypothèses et ils sont fournis à titre purement indicatif d'autant plus que le marché des engrais ne peut être considéré comme un marché potentiel pour les composts. Tout d'abord, le compost n'est pas un engrais mais bien un amendement. Il n'est pas envisageable de remplacer complètement les engrais minéraux par le compost. Toutefois, le compost peut faire diminuer les quantités d'engrais chimiques utilisées et même optimiser leur utilisation, en diminuant les pertes d'éléments nutritifs et en améliorant les conditions du sol. Par ailleurs, des coûts relativement importants sont reliés à l'achat des composts. La plupart des producteurs agricoles refusent de débourser de tels montants pour améliorer leurs sols, en plus des coûts reliés à l'achat des engrais chimiques. Toutefois, en considérant les multiples avantages associés à leur utilisation, il devient avantageux à tous les niveaux d'utiliser le compost.

CONCLUSION

Tous les avantages relatés dans ce document s'appliquent aux milieux agricole (élevages, grandes cultures, horticulture) et municipal (commerce de détail, aménagement paysager et espaces verts). Tous les utilisateurs bénéficient d'une façon ou d'une autre des propriétés des composts. Toutefois, certains débouchés sont toujours à explorer, entre autres, une utilisation plus massive et systématique des composts dans les ouvrages routiers (revégétation, remblai et contrôle de l'érosion).

L'agriculture est un grand consommateur d'éléments fertilisants, donc un marché potentiel important pour le compost. Utilisé principalement comme amendement organique, le compost ne peut remplacer complètement les engrais minéraux utilisés en agriculture. Toutefois, l'utilisation du compost peut permettre de réduire les quantités d'engrais chimiques utilisées et même d'accroître l'efficacité de ceux-ci, de même que les rendements.

Au Québec, les efforts sont de plus en plus concertés afin de sensibiliser la population à la protection de l'environnement et à la conservation des ressources. Des actions concrètes sont posées et la promotion du compostage fait partie des objectifs permettant d'améliorer la gestion des matières résiduelles. Les nombreux avantages associés à l'utilisation des composts font du compostage un outil essentiel à la valorisation des matières putrescibles et à l'atteinte des objectifs du Plan d'action québécois sur la gestion des matières résiduelles (1998-2008).

TABLE DES MATIÈRES

PAGE

1. MISE EN CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE 1

2. MÉTHODOLOGIE 2

3. RÉSULTATS 3

3.1 BÉNÉFICES AGRONOMIQUES 3

3.1.1 Améliorations d'ordre physique 4
3.1.2 Améliorations d'ordre chimique 6
3.1.3 Améliorations d'ordre biologique 10
3.1.4 Effets sur les rendements 16

3.2 CONSIDÉRATIONS PRATIQUES 19

3.3 AUTRES BÉNÉFICES 20

3.4 AUTRES UTILISATIONS 21

3.5 UTILISATION POTENTIELLE DES COMPOSTS COMME SUBSTITUT AUX ENGRAIS MINÉRAUX 24

4. CONCLUSION 25

5. BIBLIOGRAPHIE 27

ANNEXE A TABLEAU SYNTHÈSE DES BÉNÉFICES ET UTILISATIONS ASSOCIÉES AUX COMPOSTS

1. MISE EN CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

En 1998, le gouvernement du Québec a déposé le Plan d'action québécois sur la gestion des matières résiduelles, pour la période 1998-2008. Le Plan d'action québécois propose des mesures visant à valoriser plus de 65 % des 7,1 millions de tonnes de matières résiduelles pouvant être mises en valeur annuellement (MEF, 1998). Au niveau des matières putrescibles issues du secteur municipal et des institutions, commerces et industries (ICI), l'objectif est de 60 %. Certaines actions du Plan d'action concernent directement ou indirectement le compostage, dont entre autres, celle visant la récupération par les municipalités, aux fins de mise en valeur, des feuilles et des herbes qui ne peuvent être laissées sur place, à compter de l'an 2002. La Politique québécoise de gestion des matières résiduelles 1998-2008, publiée en septembre 2000, est issue du Plan d'action et en vise la réalisation. Il est donc assuré que le compostage occupera de plus en plus de place au niveau de la gestion des matières putrescibles au Québec.

D'ailleurs, l'industrie du compostage au Québec est en constante progression depuis une dizaine d'années. Toutefois, certains marchés et finalités potentiels pour le compost sont difficiles d'atteinte. Plusieurs raisons permettent d'expliquer cette situation. D'abord les prix de vente du produit, qui peut parfois être remplacé par un produit différent mais à meilleur coût, le contexte politique et environnemental qui, en agriculture, privilégie l'utilisation des fumiers plutôt que de la matière organique stabilisée sous forme de compost, mais surtout le manque de connaissance et d'information sur le compost. Des actions peuvent donc être entreprises à plusieurs niveaux : information et sensibilisation, formation et recherche et développement.

Dans le cadre de son Programme de soutien au compostage, ***RECYC-QUÉBEC*** a confié au Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) la réalisation d'une étude sur les avantages à utiliser le compost. Ce sujet avait d'ailleurs suscité beaucoup d'intérêt lors de la réalisation de l'étude d'orientation en matière de compostage au Québec (Côté et coll., 1998). L'étude sur les avantages à utiliser le compost vise, entre autres, à regrouper des données concernant les bénéfices associés à l'utilisation des composts. Ces informations démontrent les nombreux avantages agronomiques qu'apportent ces produits. Elles constituent également une source d'information qui ne peut que promouvoir la mise en œuvre du Plan d'action en plus de faire le point sur l'état des connaissances dans ce domaine.

L'objectif premier de cette étude est d'identifier tous les avantages agronomiques associés à cette forme de mise en valeur des matières putrescibles. Les bénéfices physiques, chimiques et biologiques sont abordés. De plus, les considérations pratiques concernant l'application des composts et les autres utilisations potentielles de ce produit sont brièvement passées en revue. Un parallèle et une analyse entre la quantité d'engrais et de compost écoulés au Québec sont également présentés, ce qui peut donner un aperçu de l'utilisation potentielle des composts au Québec comme substitut aux engrais minéraux.

2. MÉTHODOLOGIE

La présente étude comporte cinq (5) sections d'analyse. La première constitue le cœur de l'étude et consiste en une revue de la littérature et une analyse de la documentation concernant les bénéfices agronomiques à utiliser le compost. Elle vise à identifier les articles techniques ainsi que les études publiés entre 1995 et 2001 touchant les activités associées à la mise en valeur des matières résiduelles sous forme de compost. La seconde section porte sur les facteurs qui influencent les performances agronomiques du compost. Les troisième et quatrième sections concernent respectivement les bénéfices autres qu'agronomiques du compost et les autres utilisations qui peuvent être faites du compost. La dernière section de l'étude consiste à analyser les données disponibles sur les quantités d'engrais épandues sur les terres agricoles au Québec et sur les quantités de compost produites au Québec afin d'établir le marché potentiel d'utilisation du compost en remplacement des engrais. L'annexe A présente un tableau synthèse des bénéfices et utilisations du compost.

Afin de réaliser cette étude, un grand nombre d'articles scientifiques et de documents pertinents ont été consultés et plusieurs personnes ressources ont également été contactées.

Au niveau des bénéfices, un survol d'environ 285 banques de données nous a permis d'en retenir 32 qui se démarquaient par leurs résultats pertinents. Les stratégies de recherche utilisées mettaient évidemment l'accent sur le compost et certains autres mots clés comme par exemple l'horticulture ornementale, les avantages, les bénéfices, etc. et les types d'avantages ciblés comme le contrôle des mauvaises herbes, de l'érosion, des maladies, etc. C'est à partir des 32 banques de données sélectionnées que nous avons travaillé et que nous avons identifié environ 1 000 titres en lien avec les termes de nos principales stratégies de recherche. Tous ces titres ont fait l'objet d'un examen minutieux et 320 ont été retenus afin d'avoir plus d'information

par des résumés complets. Certains résumés étaient suffisamment explicites pour l'analyse, d'autres ont été éliminés car jugés non pertinents et une cinquantaine de documents ont été commandés pour analyses, lorsque les résumés étaient incomplets. Plusieurs documents personnels ont également été consultés, manuels de cours, monographies, revues spécialisées, etc.

De plus, l'Institut québécois de développement de l'horticulture ornementale (IQDHO) développe depuis 1992 une banque de données spécialisées en production ornementale (HORTIDATA). Cette banque de données est unique au monde et contient près de 20 000 références d'articles techniques qui ont été lus, sélectionnés et indexés par des spécialistes du domaine. Suite à la consultation de cette banque, une quinzaine de documents ont été commandés et analysés.

Donc, au total, plus d'une centaine de documents ont servi à la production de l'étude.

3. RÉSULTATS

3.1 BÉNÉFICES AGRONOMIQUES

C'est en améliorant les propriétés physiques et chimiques et en stimulant l'activité biologique que le compost favorise la fertilité des sols. Les composts sont bénéfiques aux sols et aux végétaux principalement grâce à leur contenu en matière organique. L'avantage principal à utiliser le compost est donc directement relié à son contenu en matière organique.

La matière organique a des implications directes sur plusieurs bénéfices associés au compost qu'ils soient d'ordre physique, chimique ou biologique. De même, certains avantages agronomiques, comme l'augmentation du rendement des cultures, sont directement influencés par les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols.

De plus, certaines caractéristiques des sols, modifiées par l'addition de compost, ont des incidences directes sur d'autres propriétés. Par exemple le pH, modifié dans certains cas par le compost, peut avoir une incidence sur la disponibilité des éléments fertilisants. Ainsi, les multiples propriétés des composts sont intimement reliées entre elles et le tout améliore les conditions physiques, chimiques et biologiques des sols.

Les sections qui suivent font état des améliorations de ces conditions. La question de l'amélioration des rendements des cultures fait l'objet d'une sous-section en soit, puisqu'il s'agit d'un bénéfice où les propriétés physiques, chimiques et biologiques interviennent toutes.

3.1.1 Améliorations d'ordre physique

Un des avantages majeurs à utiliser le compost comme amendement est qu'il améliore les propriétés physiques des sols (Dick et McCoy, 1993). L'application de compost favorise le maintien ou l'augmentation du contenu en matière organique du sol, ce qui influence directement ses propriétés physiques.

Parmi les propriétés physiques qui sont améliorées par l'addition de compost, notons en sols légers (sableux), la formation d'agrégats, qui améliore la structure, diminue les risques de compaction et réduit l'érosion éolienne et hydrique, ainsi que la capacité de rétention en eau, qui permet une meilleure résistance des sols à la sécheresse. En sols lourds et compactés (argileux), les composts améliorent la porosité, les échanges gazeux, le drainage, l'aération et le réchauffement des sols. Le compost améliore également les propriétés mécaniques du sol, soit sa plasticité, son adhésivité, le gonflement et le retrait des argiles ainsi que sa densité apparente.

Stabilité structurale et contrôle de l'érosion

Les facteurs de perte de stabilité structurale d'un sol sont naturels ou conséquents aux techniques agricoles. Parmi les facteurs naturels, on retrouve, la dispersion des agrégats par l'eau ainsi que l'érosion due aux pluies et aux vents (sur sols secs) (Mustin, 1987). Les pratiques agricoles, quant à elles, dégradent les sols en raison de l'utilisation de systèmes culturaux intensifs.

L'amélioration de la stabilité structurale est une mesure agronomique d'importance. La structure du sol réfère au mode d'assemblage des particules minérales et organiques. Une bonne structure, constituée de gros agrégats, facilite et réduit le travail du sol et assure sa fertilité et sa conservation. Comparativement aux fertilisants minéraux, les composts favorisent le développement et l'établissement d'une meilleure stabilité structurale. En stimulant la microflore du sol, ils ont une influence positive sur la formation d'agrégats. En effet, dans les processus de formation d'agrégats, les petits agrégats du sol (0,25 – 1 mm) se lient ensemble pour former les gros agrégats (> 5 mm) et ce, grâce aux mucilages microbiens, aux filaments de champignons et aux polysaccharides issus de la décomposition de la matière organique (Dick et McCoy, 1993; N'Dayegamiye, 2000). La formation de gros agrégats améliore la structure du

sol, ralentit l'érosion et réduit le lessivage. La stabilité structurale réduit également les risques de compaction des sols et permet une augmentation de la croissance et de la respiration du système radiculaire des plantes. Il est à noter que l'amélioration de la stabilité structurale par l'apport de compost est plus rapide dans les sols pauvres en éléments nutritifs ainsi que dans les sols dégradés ou en voie de dégradation, comparativement aux sols riches et mieux structurés.

Une étude réalisée en 1999 visait à mesurer l'influence d'une application continue de compost et de fertilisants sur la macro agrégation dans un sol où se fait la culture de riz et d'orge. Les résultats démontrent que les applications continues de compost ont augmenté le degré de macro agrégation (> 0,25 mm), le contenu en carbone organique, en azote total et en hydrates de carbone hydrolysables des sols (Ibrahim et Shindo, 1999).

Une autre étude visait à démontrer l'effet de l'utilisation de compost de résidus urbains en agriculture sur l'amélioration des propriétés physiques du sol et la conservation de l'environnement. Cette étude avait comme objectif de vérifier les effets du compost sur l'érosion du sol, le lessivage et la stabilité des agrégats. La dose de compost appliquée était de 64 t/ha. Les résultats démontrent que l'utilisation du compost a permis une réduction du lessivage entre 7 et 399 m^3/ha et de l'érosion de 0,2 à 2,4 t/ha (Bazzoffi et coll., 1998).

Réchauffement

Le compost, appliqué au sol, renouvelle ses réserves en humus. Par leurs couleurs foncées, les humus rendent les sols plus absorbants de l'énergie incidente. Les sols noirs et riches en humus ont donc tendance à se réchauffer plus rapidement, en accumulant la chaleur des rayons non réfléchis et subissent moins d'écarts importants de température (Mustin, 1987).

Capacité de rétention en eau et porosité

L'application de compost a également des effets bénéfiques sur la capacité de rétention en eau du sol amendé. Le compost retient en général de 2 à 5 fois son poids sec en eau (Potvin et Bernard, 1995). La capacité de stockage de l'eau utilisable par les plantes est donc augmentée, ce qui constitue un atout considérable, pour le sol, en période de sécheresse (Pedneault, 1994a).

L'entretien de la matière organique du sol, par l'addition de compost, permet également le maintien d'une bonne porosité, qui améliore le drainage naturel des sols, sans modifier leur réserve en eau utile, et facilite les échanges gazeux (Mustin, 1987).

Une étude au champ effectuée en 1994 et 1995 a démontré que des apports de 92 t/ha de composts, appliqués à chaque printemps, permettent d'augmenter la teneur en eau d'un loam sableux de 3 à 5 % par rapport à un sol non amendé. Cet effet est particulièrement visible lors des années sèches et est en grande partie associé à la quantité de matière organique apportée au sol (Gagnon et coll., 1998). Une seconde étude a également déterminé que l'application de compost et de lombricompost faits à partir d'ordures ménagères a permis d'augmenter la porosité et la capacité de rétention en eau des sols (Nogales et coll., 1996).

3.1.2 Améliorations d'ordre chimique

Au cours du processus de compostage, du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote sont libérés dans l'atmosphère. La lixiviation contribue également à la perte d'éléments qui devraient idéalement demeurer dans le compost. Plus la lixiviation est contrôlée, et diminuée, plus les éléments sont conservés à l'intérieur du compost et les concentrations des éléments importants au niveau agronomique vont augmenter à des niveaux supérieurs au mélange de départ (Dick et McCoy, 1993). C'est le phénomène de concentration. Par exemple, au niveau de l'azote, malgré les pertes dans l'atmosphère et dans les lixiviats, la concentration en azote total augmente au cours du compostage. La composition chimique des composts reflète toutefois celle des intrants utilisés.

Les avantages d'ordre chimique sont donc reliés à cette composition chimique des composts, aux éléments qui les constituent et qui en font un produit de qualité. L'application de compost au sol augmente la teneur en carbone, en azote et en matière organique de celui-ci. Les composts contiennent les éléments majeurs (N, P, K), ainsi que les oligo-éléments essentiels à la croissance des plantes, ce qui augmente la fertilité des sols.

Le compost a un fort coefficient isohumique (quantité d'humus stable produite à partir de 1 kg de matière organique sèche apportée au sol). Plus cet humus est en quantité, plus les avantages qui y sont reliés sont importants. Entre autres, la minéralisation de cet humus apporte des éléments minéraux aux plantes.

Plusieurs paramètres influencent la fertilité des sols : le pH, l'apport d'éléments nutritifs, l'humidité, la température, etc. Un compost mature agit sur la plupart de ces facteurs et influence grandement la fertilité des sols. Sous climat tempéré, la minéralisation se fait de façon relativement lente et une partie de la matière organique se transforme en humus. Les bénéfices s'échelonnent donc sur plusieurs années (Dick et McCoy, 1993).

Capacité d'échange cationique et anionique

L'application de compost augmente généralement la capacité d'échange cationique (CEC) des sols. La fraction colloïdale du sol (organique et minérale) possède des charges positives mais surtout négatives. La CEC est définie comme étant la somme des cations échangeables adsorbés sur les sites négatifs, ce qui inclut les bases, exprimée en milliéquivalent par 100 g de sol séché à l'étuve. Les principaux cations échangeables sont le calcium, le magnésium, le potassium, le sodium et l'hydrogène. La CEC joue un rôle important dans la croissance des végétaux car elle détermine la quantité d'éléments nutritifs disponibles aux plantes sous forme de cations échangeables (Antoun, 1986). La capacité d'échange cationique est reliée aux complexes argilo-humiques du sol que le compost contribue à former. L'humus du compost cimente les particules minérales. Il réagit et forme avec les colloïdes minéraux, par l'intermédiaire des cations (Ca^{++}, Fe^{3+}, Al^{3+}), des complexes argilo-humiques responsables de l'amélioration des propriétés physiques et chimiques du sol (MAPAQ, 1990). Ces complexes sont composés d'un noyau argileux saturé par des molécules organiques. Les cations sont fixés sur les complexes de façon à créer un équilibre avec la solution du sol. Le prélèvement des éléments par les plantes entraîne un relarguage de cet élément à partir du complexe argilo-humique qui fixera d'autres cations pour maintenir l'équilibre (Mustin, 1987). Ces complexes agissent donc comme des réservoirs d'éléments nutritifs. Le prélèvement par les cultures s'en trouve facilité. Au niveau des anions, entre autres les nitrates et les phosphates, ils peuvent également être fixés par le biais de sites positifs en périphérie des complexes argilo-humiques.

Effet sur le pH

Le compost tend à augmenter le pH des sols acides en raison des bases échangeables (Ca, Mg, K, Na) présentes au niveau des complexes argilo-humiques (Mustin, 1987). Ces complexes sont aussi responsables du pouvoir tampon du sol, de sa capacité à résister aux variations de pH.

Disponibilité des éléments

L'azote est essentiellement sous forme organique dans les composts et est minéralisé (ammonification et nitrification) lentement pour devenir disponible aux plantes qui l'utilisent surtout sous forme de nitrates (Dick et McCoy, 1993). Selon ces auteurs, la disponibilité de l'azote au cours de la première année de culture suivant l'application de compost est d'environ 25 %, bien qu'il y ait une grande variabilité au niveau de cet élément. Mustin (1987) rapporte qu'un compost d'ordures ménagères libère, sous forme assimilable, de 5 à 20% de son azote. Selon Rangarajan (1998), l'azote minéralisé durant la première année suivant l'application du compost est estimé à

15 % de l'azote total. Cette minéralisation varie selon les intrants utilisés, le rapport C/N du compost et le pH.

Le taux de minéralisation de l'azote a été étudié lors d'un essai au champ de 14 mois utilisant un compost fait à partir d'ordures ménagères sur la production de maïs. Trois (3) traitements ont été étudiés : l'application du compost en février (avant l'ensemencement), l'application durant l'ensemencement et un contrôle (sans application de compost). Le sol avec le compost appliqué en février a montré 1,9 et 1,4 fois plus d'azote disponible que le sol sans compost et que le sol avec compost ajouté à l'ensemencement, respectivement. Ces résultats suggèrent que le compost amène de l'azote au sol et qu'il soit préférable de l'appliquer avant le semis (Sanchez et coll., 1997).

Sullivan et coll. (1998) ont réalisé une étude qui avait comme objectif de déterminer la valeur de fertilisation en azote de résidus alimentaires compostés avec des résidus de jardin, du papier ou des résidus de bois. Les composts furent appliqués dans les premiers 8 à 10 cm de sol à des taux de 155 t/ha et du gazon fut semé. Durant la deuxième et troisième année suivant l'application, les composts se sont avérés être d'excellentes sources d'azote à libération lente. Ils ont remplacé les fertilisants chimiques équivalents à 0,70 kg N/ha/jour durant une période de 140 jours. Cette source d'azote provenant des composts durant ces deux (2) années peut être évaluée à 0,70 à 1,90 $/tonne sèche de compost par année. De même, des composts qui ont des concentrations plus importantes en azote ont des valeurs de fertilisation en azote supérieures. Toutefois, le contenu en azote des composts est généralement faible (0,5 à 2,0 %) et la libération des formes disponibles se fait graduellement durant les années suivant son application (Karlen et coll., 1995).

Par ailleurs, le compost semble améliorer la disponibilité de l'azote. En effet, selon une étude réalisée en 1990, après 20 ans d'application annuelle de compost et de fertilisant minéral sur une culture de riz, le prélèvement d'azote sur les parcelles amendées de compost était supérieur à celles fertilisées (Suzuki et coll., 1990). Également, selon Baziramakenga et Simard (1998), l'application de certains composts (composts faits à partir de paille et de résidus de bois, entre autres) permet d'introduire de grandes quantités d'acides aliphatiques à faible poids moléculaire dans les sols (acides acétiques, formiques et oxaliques), améliorant la mobilité et la disponibilité des éléments nutritifs, tel l'azote.

Au cours du compostage, le phosphore, de son côté, demeure principalement sous une forme inorganique. Sa disponibilité dépend donc davantage des réactions de fixation de cet élément que de la minéralisation de la matière organique. Le compost, en plus d'apporter du phosphore au sol, retire cet élément de la solution du sol. Les phosphates sont fixés par les composés métalliques du compost. L'ajout de compost

dans un champ d'épuration a d'ailleurs fait diminuer la teneur en phosphore de la solution du sol (Dick et McCoy, 1993). Toujours selon ces auteurs, le phosphore serait disponible à 100 % lors de la première année suivant l'application. Mustin (1987), mentionne plutôt de 50 à 60 %.

Les composts agissent également sur le phosphore du sol en rendant soluble du phosphore qui ne l'était pas auparavant (Benali et coll., 1999). Simard et coll. (2000), ont effectué une étude avec du compost de boues de désencrage et de lisier de porc sur une culture de pomme de terre et ont observé que l'apport de 20 tonnes par hectare de compost a augmenté la teneur en phosphore labile du sol par plus de 300 kg/ha, ce qui est de beaucoup supérieur à l'apport total de phosphore.

Le potassium, quant à lui, est relativement mobile et échangeable dans le sol et est prélevé sous forme d'ion K^+. Sa disponibilité au cours de la première année est de 80 % (Dick et McCoy, 1993), alors que Mustin (1987) mentionne de 80 à 100 % pour un compost d'ordures ménagères.

Selon Pedneault (1994a), le potassium, le calcium et le magnésium deviennent disponibles rapidement, alors que la libération d'azote, de phosphore et de soufre, qui dépend aussi de la biodégradation des matières organiques se réalise par contre plus lentement.

Accroissement de l'efficacité des fertilisants chimiques

Les propriétés fertilisantes du compost sont non négligeables mais ne peuvent être comparées à celles des engrais chimiques. La combinaison de compost et de fertilisant chimique permet toutefois de réduire le taux d'application des fertilisants chimiques car le compost apporte une fraction des besoins nutritifs des plantes (Mesquita Dos Santos et coll., 1996; Sikora et Enkiri, 1999). De plus, l'humus des composts a un effet positif sur l'absorption des minéraux. Lorsque la nutrition minérale est convenable, cet effet est encore plus marqué. Le compost accroît donc l'efficacité des fertilisants ajoutés.

Chélation et disponibilité des oligo-éléments et des métaux lourds

Plusieurs oligo-éléments sont chélatés en présence d'humus sous forme d'un complexe organo-métallique. Cette fixation est réversible et permet aux oligo-éléments d'être disponibles aux plantes.

D'autre part, les composts contiennent parfois des métaux lourds. La plupart du temps, les apports au sol ne font pas en sorte que le prélèvement par les plantes est augmenté. Ceci est dû à la présence des microorganismes du sol et à la matière organique qui fixent ou forment des chélats avec les métaux lourds, à l'intérieur de complexes organiques. De plus, le calcium et le pH, souvent alcalin, du compost font en sorte de rendre les métaux non disponibles aux plantes (Dick et McCoy, 1993). Il est important de mentionner que la présence de métaux lourds dans un compost peut être dommageable aux plantes lorsque les conditions du sol (pH, texture) permettent la solubilisation et la disponibilité des métaux (Mesquita Dos Santos et coll., 1996). D'ailleurs, la norme canadienne sur les composts (CAN/BNQ 0413-200/97) mentionne que les composts de type B, en raison de leur teneur en éléments traces, doivent porter une mise en garde dans leur mode d'emploi afin de limiter les doses utilisées (Bureau de normalisation du Québec, 1997). Il faut donc être prudent sur la question des éléments traces dans le compost.

3.1.3 Améliorations d'ordre biologique

Le compost stimule l'activité biologique des sols. Par son apport en matière organique, le compost fourni une source d'éléments nutritifs aux microorganismes présents dans le sol, favorisant ainsi leur croissance et leur développement. De plus, le compost inocule le sol de milliards de microorganismes diversifiés. Le compost accroît ainsi la biodiversité du sol, contribuant à des phénomènes tels que la phytoprotection des plantes contre certaines infections et la lutte aux mauvaises herbes.

Stimulation de la microfaune

Le compost agit sur la biodiversité du sol où il est appliqué. En effet, étant issu d'un processus biologique de transformation des résidus organiques putrescibles, le compost contient une biomasse importante et abrite des populations microbiennes diversifiées composées de bactéries, de champignons et d'actinomycètes (Bordeleau, 1999). L'application de compost permet également d'augmenter la population de la microfaune du sol en arthropodes, spécialement les groupes saprophages (collemboles) se nourrissant de la matière organique en décomposition (Idinger et Kromp, 1997).

De plus, le compost représente une source nutritive minérale et organique importante pour la microfaune et les végétaux. Cet apport stimule les microorganismes présents dans le sol, favorise les activités enzymatiques bénéfiques de même que les cycles biologiques. L'impact de l'ajout de compost sera dépendant de la teneur initiale en matière organique du sol. Plus un sol est pauvre en matière organique active, plus l'impact de l'ajout de compost sur l'activité biologique du sol sera important (Simard et coll., 2000).

Perucci (1990) a observé une augmentation significative de l'activité enzymatique (uréases, protéases, phosphatases et sulfatases) dans des sols amendés de compost. En améliorant le potentiel biologique et enzymatique des sols, le compost crée des conditions optimales de croissance des plantes, de minéralisation, d'humification et de disponibilité des éléments nutritifs.

Une étude au champ, réalisée au Québec, a permis d'évaluer l'effet de différents composts appliqués seuls ou avec du nitrate d'ammonium (fertilisant) sur la biomasse microbienne et l'activité de la phosphatase alcaline, enzyme provenant principalement des cellules microbiennes, dans deux (2) sols sur blé. La phosphatase est une enzyme qui hydrolyse les esters organiques de phosphates pour libérer du phosphate inorganique, accessible aux plantes. La dose d'application du compost était de 180 kg/ha ou 90 kg/ha. Les résultats démontrent que la biomasse et l'activité enzymatique étaient plus élevées, à la récolte, dans les sols traités avec le compost seul comparativement aux sols traités avec le fertilisant seul, indiquant donc que le compost améliore, à court terme, la biomasse et l'activité de la phosphatase alcaline en climat froid (Lalande et coll., 1998).

Phytoprotection

Les microorganismes pathogènes s'attaquant aux plantes constituent l'une des trois (3) principales nuisances de l'agriculture, les deux autres étant les insectes et les mauvaises herbes. En 1995, il a été estimé que les maladies causées par la présence de pathogènes ont été responsables de 12 % des pertes agricoles dans le monde entier. Certaines cultures, comme la pomme de terre, ont été plus susceptibles à la maladie et près de 22 % des cultures mondiales ont été perdues par cause de maladie. Pour contrôler ces pathogènes, 1 milliard de dollars a été dépensé en 1995 dans le monde pour l'achat de fongicides. Au Canada, chaque année, près de 6,9 millions d'acres sont traités aux fongicides et aux insecticides, avec 721 millions de dollars dépensés pour les pesticides, incluant les herbicides (Paulitz et Paré, 1995).

Plusieurs études démontrent que les végétaux recevant un amendement organique comme le compost ont tendance à être moins sujet aux maladies fongiques et aux

attaques d'insectes (Nakasaki et coll., 1998; Loschinkohl et coll., 1999; Preusch et Tworkoski, 2000). Trois (3) années d'amendement avec un compost de feuilles ont permis la suppression de pathogènes associés à la culture de l'oignon (Maynard et Hill, 2000). L'application de compost de qualité peut supprimer certaines maladies associées aux plantes, telles que la maladie causée par *Scleotinia homoeocarpa*, à des niveaux comparables à l'utilisation de fongicides, contribuant ainsi à la réduction de l'utilisation de ces derniers (Boulter et coll., 1999). Le compost est d'ailleurs utilisé en agriculture afin de remplacer certains produits, comme le bromure de méthyle, utilisé comme traitement fongicide préventif en culture horticole intensive (Zinati, 2000).

Une étude relate que des agriculteurs, utilisant régulièrement du compost fait de fumier dans leur culture, ont remarqué une augmentation du taux de maladie associée au feuillage après avoir cessé l'application de compost. Des essais ont été réalisés afin d'évaluer la relation entre l'application de compost, la croissance des végétaux et la suppression de maladie. L'application de compost fait à partir de fumier de chèvre mélangé à des résidus de maïs (C/N de 20) et de fumier de vache laitière mélangé également à des résidus de maïs (C/N de 20), à des taux de 10 à 15 tonnes par acre durant deux années, a montré une augmentation de la croissance de la culture et une réduction de l'incidence de maladies (Anonyme, 2000a).

Une autre étude démontre que l'addition de compost fait à partir de résidus municipaux a permis d'augmenter la suppression du Fusarium responsable du dépérissement du lin (*Fusarium oxysporum* f. sp. lini) (Serra-Wittling et coll., 1996) et de *Fusarium roseum sambucinum*, causant la tache argentée de la pomme de terre (Serra-Wittling et coll., 1997). Un compost fait à partir de bagasse broyée et de boues résiduaires s'avèrerait être, quant à lui, suppressif vis-à-vis *Fusarium solani*. Une étude a démontré que ce compost réduit fortement la densité de l'inoculum et la gravité des attaques qu'il provoque chez la Lentille (plante test). Selon les auteurs de cette étude, cette suppression serait d'origine physico-chimique (substances inhibitrices de différentes natures, pH acide, etc.) et biologique (intervention de *Trichoderma sp*., *Gliocladium sp*. et *Bacillus subtilis*, qui opèrent selon différents mécanismes tels que la compétition pour l'espace et le mycoparasitisme) (Ezelin de Souza et Revel, 1998).

Une étude de Bruns et coll. (1996) a démontré que l'ajout de compost de résidus de jardin et de compost de biosolides réduisait de 30 à 50 % l'incidence de maladie de la culture de pois et de concombre par *Pythium ultimum* et de la culture de tomate par *Phytophtora parasitica nicotianae*. Ces deux (2) composts avaient un haut niveau d'activité microbienne. Les microorganismes présents dans les composts sont d'excellents compétiteurs pour les sources de carbone facilement disponible, entraînant un effet fongicide envers les pathogènes, dépendant de cette source de

carbone. *Pythium ultimum* est reconnu comme un faible compétiteur et est incapable d'attaquer les plants déjà colonisés par d'autres microorganismes, soit les microorganismes présents dans le compost (Van Bruggen et Duineveld, 1995). La maturité du compost est un paramètre important pour la suppression de *Pythium ultimum*. En effet, un certain degré de maturité serait nécessaire pour que le compost puisse inhiber l'action de *Pythium ultimum* (Erhart et coll., 1999).

Par ailleurs, l'utilisation de compost fait d'écorces est reconnue pour favoriser la croissance des plantes et réduire l'infection de Phytophtora causant la pourriture des racines (Hardy et Sivasithamparam, 1995; Hoitink et coll., 1997). Les champignons et les actinomycètes présents dans ce compost suppriment l'activité de Phytophtora. Il s'avère également que l'effet de suppression du compost augmente avec l'âge et avec la qualité du compost. Les composts riches en polyphénols (tanins, lignine), comme le compost d'écorces, semblent avoir les effets inhibiteurs les plus nets (Mustin, 1987).

L'utilisation de compost semble également réduire significativement l'infestation des cultures par des nématodes, comparativement à des cultures n'utilisant que des fertilisants chimiques (Valenzuela et Hamasaki, 1995). L'ajout de compost augmente la quantité d'éléments nutritifs au niveau du sol, favorisant ainsi la croissance de champignons et autres microorganismes qui entrent en compétition avec les nématodes.

Les lixiviats de compost ou extraits de compost sont également reconnus pour leurs propriétés antipathogènes. Les extraits de compost sont des solutions aqueuses obtenues suite au trempage d'un échantillon de compost dans l'eau ou suite au passage de l'eau à travers ce même échantillon. Vaporisés au niveau des feuilles et de la tige d'une plante, les lixiviats de compost sont réputés pour exercer un contrôle biologique de certaines maladies des plantes comme par exemple les maladies fongiques comme la rouille, la gale ou le mildiou. En effet, la présence de bactéries et autres microorganismes bénéfiques (champignons et levures) au niveau du lixiviat inhiberait ou compétitionnerait les pathogènes associés à la plante (Anonyme, 1996; Wickland et coll., 2001). Les effets de l'application d'un extrait liquide de compost sur les végétaux sont visibles très rapidement, soit après quelques jours suivant l'application, comparativement à l'apport d'un compost où les effets bénéfiques sont visibles au cours de la deuxième ou de la troisième semaine après l'application. Les extraits liquides contiennent des éléments minéraux dissous que les plantes peuvent absorber dans l'immédiat (Pedneault, 1994b).

Les mécanismes d'action du compost assurant le contrôle de certains pathogènes associés aux plantes sont :

- le mycostatisme ou le bactériostatisme (inhibition directe de la germination des spores);
- la lyse (destruction des mycéliums des agents pathogènes);
- les actions de type antibiotique (émission de substances organiques spécifiques et toxiques);
- la compétition pour l'espace vital et pour les éléments nutritifs;
- la prédation et le parasitisme (Mustin, 1987).

Ces effets suppressifs sont le plus souvent de nature microbiologique, en relation avec les populations microbiennes apportées par le compost (Bordeleau, 1999). Comme l'ajout de matière organique au sol augmente et stimule la biomasse microbienne, les populations bénéfiques de bactéries et de champignons entrent en compétition (espace, éléments nutritifs) avec les espèces pathogènes. Les substances humiques seraient la fraction active du compost pour le contrôle biologique des pathogènes. De plus, l'ajout de compost augmente également la vigueur des plantes, entraînant naturellement une meilleure résistance aux infestations, aux maladies et aux conditions adverses (Pedneault, 1994b).

Une étude a démontré que les mécanismes de suppression du compost étaient bel et bien de nature biologique. Cette étude avait comme objectifs de déterminer la capacité de suppression d'un compost de résidus solides municipaux contre les pathogènes du sol et d'investiguer les mécanismes impliqués dans ce processus. Le compost a donc été utilisé comme amendement à un sol sableux, en serre, pour la culture des plants de coton. Les pathogènes du sol étaient *Rhizoctonia solani* et *Fusarium oxysporum.* Les résultats démontrent que la sévérité des maladies causées par *Rhizoctonia solani* et *Fusarium oxysporum* a diminué de 80 et 95 % respectivement, dans les cultures amendées de compost mature. Les cultures amendées avec du compost âgé d'un mois et demi étaient infestées par *Rhizoctonia solani*, alors que le compost âgé de deux semaines inhibait la croissance de *Fusarium oxysporum*. En réduisant la population microbienne du compost mature par la stérilisation, ce dernier n'avait plus d'effet sur *Rhizoctonia solani*. Le mécanisme de suppression était donc biologique. D'autant plus qu'en ajoutant 5 % de compost à celui traité par la stérilisation, il y a eu recolonisation des microorganismes antagonistes et inhibition des pathogènes (Cohen et coll., 1998).

Selon Hoitink et coll. (1997), il existe deux (2) types de mécanismes biologiques contrôlant les infections au sein des composts : le contrôle général et le contrôle spécifique. Le contrôle général est dû à l'activité importante de la microflore générale du sol et du compost qui compétitionne les pathogènes pour les éléments nutritifs et/ou produit des antibiotiques réduisant la croissance de ces pathogènes. Ce type de suppression est efficace contre les pathogènes incapables de se faire de grandes réserves d'éléments nutritifs et dépendants des sources de carbone externes

(hétérotrophes). Un exemple de ce type de suppression est le contrôle de la pourriture des racines causée par Pythium et Phytophtora.

La suppression spécifique, quant à elle, est contrôlée par un ou quelques microorganismes spécifiques. Ces derniers font de l'hyperparasitisme sur le pathogène ou induisent une résistance systémique à la plante contre le pathogène, telle une vaccination. Les pathogènes *Rhizoctonia solani* et *Sclerotium rolfsii* peuvent être contrôlés par la suppression spécifique. Ces microorganismes ne sont pas affectés par la suppression générale car ils sont indépendants des sources externes d'énergie et d'éléments nutritifs (autotrophes), donc ils ne sont pas sujets à la compétition microbienne. Des hyperparasites, tels que les espèces Trichoderma et Gliocladium peuvent coloniser ces pathogènes et empêcher l'infection causée à la plante.

Comme mentionné plus haut, selon Hoitink et coll. (1997), les microorganismes bénéfiques, présents dans les composts, induiraient chez la plante un système de résistance contre certaines maladies. Lorsqu'une plante est infectée par un pathogène, celle-ci mobilise alors son système de défense, mais il est souvent trop tard pour contrer l'infection. Les plantes cultivées en présence de compost semblent avoir un système de défense continuellement en alerte contre les pathogènes, réduisant ainsi les risques d'infection. Selon les auteurs, un système de résistance serait spécifique à un pathogène donné.

L'ajout de compost ne semble cependant pas toujours contrôler totalement l'action des pathogènes, un ajout de pesticides étant parfois nécessaire. L'utilisation du compost permet toutefois de réduire les quantités de pesticides à être utilisées (Pascual, 2000).

Lutte aux mauvaises herbes

La présence de mauvaises herbes dans les cultures réduit la croissance et la qualité de celle-ci par compétition pour la lumière, pour l'eau et pour les éléments nutritifs. L'utilisation d'herbicides est alors préconisée. Le coût des herbicides et les coûts d'application sont avantageux par rapport au contrôle mécanique. Cependant, l'utilisation à long terme de ces produits a un effet négatif sur l'environnement.

L'utilisation de résidus organiques tels que l'écorce, la paille et les copeaux de bois permet également de contrôler les mauvaises herbes. L'application d'une couche de résidus d'environ 10 à 15 cm permet un contrôle efficace des mauvaises herbes. Ces résidus réduisent la croissance des mauvaises herbes par la production de substances phytotoxiques telles que les acides acétiques, propioniques et butyriques (Ozores-Hampton, 1998). Ces substances sont générées par les résidus organiques en décomposition et également par des composts immatures. En effet, les composts

immatures sont reconnus pour avoir des effets toxiques sur les graines et inhiber leur germination (Ligneau et Watt, 1995). Toutefois, ces effets peuvent également être négatifs pour la culture.

L'application de compost mature peut également être envisagée pour le contrôle des mauvaises herbes. Un compost mature et de qualité a l'avantage de ne pas nuire aux cultures et de ne pas avoir d'effet négatif sur l'environnement. Plusieurs études ont démontré l'efficacité du compost dans le contrôle des mauvaises herbes. L'application de compost (50 t/acre) diminue la formation de croûtes au niveau des sols et contrôle la croissance des mauvaises herbes (Anonyme, 1999). Mohler (1995) a démontré que l'application de 5 à 15 cm de compost au niveau d'une plantation de courge a permis de contrôler la croissance des mauvaises herbes. Une autre étude a également démontré que le compost fait à partir de résidus verts et de biosolides permettait de réduire la germination et la croissance des mauvaises herbes et pouvait être utilisé dans les rangs (Stoffella et coll., 2000a).

Selon une étude récente, l'augmentation du contenu en matières organiques dans les sols par l'application de composts favoriserait la présence de microorganismes contrôlant la croissance des mauvaises herbes (Rhizobactéries). Vivant à quelques millimètres des racines des mauvaises herbes, ce microorganisme produit des toxines et des concentrations importantes d'hormones affaiblissant la mauvaise herbe et n'interférant pas sur la croissance de la culture. Ce microorganisme prospère en se nourrissant de substances suintant sur les racines, ainsi la mauvaise herbe est incapable de compétitionner avec les autres plantes pour les éléments nutritifs (Anonyme, 2001).

Le contrôle des mauvaises herbes par le compost est efficace en autant que le processus de compostage se soit déroulé adéquatement. La phase thermophile est nécessaire afin d'éliminer les graines de mauvaises herbes pouvant être présentes dans les intrants. Un compost dont la température ne s'est pas suffisamment élevée ou dont la phase thermophile n'a pas été de durée suffisante peut propager des mauvaises herbes. Les chances de retrouver des graines de mauvaises herbes sont plus grandes dans les composts contenant des fumiers, des résidus de récolte ou des résidus de jardin où le compostage ne s'est pas déroulé adéquatement. Des graines de mauvaises herbes peuvent alors être toujours viables au moment de l'utilisation du compost.

3.1.4 Effets sur les rendements

L'augmentation des rendements des cultures fait appel à une amélioration générale des conditions physiques, chimiques et biologiques des sols. Il s'agit de l'ultime avantage agronomique à utiliser le compost. Des centaines d'études ont été effectuées sur ce sujet. Le terme « rendement » peut ici signifier période de floraison plus longue, croissance plus rapide, production plus abondante, etc., et ce, pour des applications en champ, en plate-bande ou en serre. Par exemple, le compost fait en sorte d'augmenter la respiration racinaire grâce à une meilleure structure du sol, de stimuler la croissance, d'augmenter le rendement en matière sèche, la précocité et la résistance, d'apporter une source d'éléments nutritifs variés (éléments majeurs, oligo-éléments), activateurs de croissance et microorganismes bénéfiques et inhibiteurs antiparasitaires (Pedneault, 1994b). L'effet d'une application de compost s'échelonne sur plusieurs années. Des applications annuelles ou pluriannuelles, régulières permettent de diminuer les doses d'engrais et compensent une fertilisation souvent incomplète sans elles. Dans les sols fertiles, les végétaux préfèrent puiser leur nourriture dans les réserves organominérales plutôt que dans les engrais. Dans les sols nourris avec des fertilisants organiques et minéraux peu solubles, les plantes développent un système racinaire abondant et très ramifié par rapport aux mêmes plantes poussant sur des sols recevant des engrais solubles (Pedneault, 1994b).

L'humus agit directement sur la physiologie des végétaux en réduisant la transpiration et la consommation d'eau par unité de matière sèche, en augmentant la respiration racinaire et la photosynthèse, en améliorant l'efficacité des métabolismes internes, en stimulant la formation et la croissance des racines et des tiges et en augmentant le rendement et la résistance des végétaux (Pedneault, 1994b).

Toujours selon Pedneault (1994b), l'analyse des rendements comparatifs obtenus avec différentes formes de fertilisation avec et sans compost fait ressortir les principaux éléments suivants : un bon compost permet d'augmenter les rendements par rapport à des sols non fertilisés, même lorsqu'il est appliqué à de faibles doses; la qualité des composts et les doses appliquées influencent directement les rendements; l'utilisation de compost fournit une productivité plus soutenue et une plus grande régularité des rendements; le fractionnement des applications donne de meilleurs résultats; des baisses de rendement peuvent s'observer avec des composts immatures et à C/N élevé ou avec des doses d'application trop fortes; les applications de fertilisants organiques et minéraux produisent les meilleurs rendements et une diminution de la fréquence et de la sévérité du parasitisme est observée.

Les composts, en améliorant l'ensemble du système sol-plante, permettent de diminuer les besoins et par conséquent, les coûts consacrés aux engrais chimiques. Par exemple, le compostage de résidus issus des usines de transformation d'olives produit un compost caractérisé par un contenu important en azote (1,5 – 3 %) et un bon taux d'humification (indice d'humification ou coefficient isohumique de 0,28). De

plus, des essais d'incorporation de ce compost à des taux de 60 à 90 t/ha à une culture de maïs ont permis de réduire le besoin en fertilisants chimiques, d'augmenter la consommation d'oxygène et la fixation d'azote au niveau du sol (Tomati et coll., 1996).

Le compost peut être utilisé pour l'application au champ ainsi que comme constituant de milieu de croissance pour la culture de végétaux. Les exigences requises des composts utilisés comme milieu pour la culture de végétaux sont différentes et plus strictes que pour les composts appliqués au champ. La raison principale est la proportion relative de compost associée à la rhizosphère : l'application de compost dans les sols fait que le compost constitue environ 1 % du volume de la rhizosphère, tandis que dans la culture en pot, le compost représente 10-100 % de la zone racinaire. Dans la culture en pot, il est évident que le compost a un effet majeur et direct sur la plante. La stabilisation, la salinité, la concentration en phytotoxines, le pH des composts peuvent influencer directement les plants (Raviv, 1998).

Plusieurs études ont démontré que le compost, utilisé en combinaison avec une fertilisation chimique, à une dose souvent inférieure, donne de meilleurs résultats que le compost ou les fertilisants seuls. Par exemple, une étude en serre a été réalisée afin de déterminer l'effet de l'ajout à un sable loameux chaulé d'un compost fait à partir de résidus de crevettes sur la croissance de l'orge. L'application de compost au sol chaulé a permis d'augmenter de façon significative la croissance de l'orge, par rapport au contrôle. Les principaux effets du compost ont été l'augmentation de la hauteur des plants et du nombre d'épi par rapport aux essais réalisés avec l'ajout de fertilisants chimiques seulement. Toutefois, les auteurs ont constaté que l'ajout d'une combinaison de fertilisants chimiques et de compost produit de meilleurs résultats agronomiques sur la croissance de l'orge que l'ajout de compost et fertilisants seuls (Hountin et coll., 1995). Également, des effets synergiques de compost de boues de désencrage et de fertilisants chimiques ont été démontrés sur une culture de laitue et de pomme de terre (Simard et coll., 1998).

Une étude a été conduite en 1997 et 1998 afin d'évaluer l'impact d'un compost de boues primaire de papetière et de lisier de porc, utilisé seul ou en combinaison avec des fertilisants inorganiques, sur entre autres les éléments nutritifs du sol et le rendement en blé et en pomme de terre. Le compost a significativement influencé le contenu en azote et en phosphore du sol. De plus, 40 t/ha de compost, en association avec les fertilisants chimiques, ont donné les meilleurs rendements (Simard et coll., 1999). Les composts augmentent donc l'efficacité des fertilisants.

Baziramakenga et Simard (2001) ont réalisé une étude destinée à évaluer l'effet de l'application d'un compost de boues de désencrage et de fumier de poulet sur les rendements et les prélèvements de phosphore et de potassium d'une culture de

haricots et de pomme de terre. Il a été déterminé que le phosphore et le potassium du compost étaient davantage disponibles que dans les fertilisants minéraux. Les rendements au cours de l'année d'application ont également augmenté.

Un compost de résidus de canne à sucre a été évalué en tant que remplaçant partiel de fertilisant inorganique sur une culture de tomates. Des parcelles recevant trois (3) doses d'engrais chimiques ont été amendées ou non avec le compost (188 t/ha). La hauteur des plants, le diamètre de la tige et le poids des pousses après la récolte ainsi que le rendement en fruits et leur grosseur ont été mesurés. Les plants des parcelles ayant reçues uniquement du compost étaient plus grands (22 jours après la transplantation) que dans celles ayant reçues une fertilisation chimique et du compost. Les parcelles amendées ont produit des plants avec des pousses plus lourdes (kg/plant), des tiges plus grosses, des fruits en plus grand nombre et prêts plus tôt et de poids et de grosseur plus élevés que dans les parcelles non amendées, et ce, peu importe le taux de fertilisation. Le compost peut donc être un substitut partiel du fertilisant tout en maintenant et même améliorant le rendement en fruits et la taille de ceux-ci (Stoffella et coll., 2000b)

Six (6) composts et un fertilisant (nitrate d'ammonium) ont été testés sur des cultures de laitue et de brocoli afin d'évaluer l'effet sur les rendements. Des rendements plus élevés ont été obtenus avec le plus fort taux d'application de compost (74 t/ha). L'effet du taux d'azote était moins important à ces doses de compost qu'à des doses plus faibles. Les rendements augmentaient peu importe la quantité d'azote. (Shiralipour et coll., 1998).

3.2 CONSIDÉRATIONS PRATIQUES

Certains autres aspects doivent être considérés afin d'optimiser les bénéfices du compost associés à la fertilité des sols. Que ce soit le type de compost, la période d'amendement, la méthode d'application, le taux d'application ainsi que le type de sol, tous ces paramètres ont un impact important sur les effets bénéfiques du compost décrits dans les sections précédentes.

La composition des composts est très variable et est reliée aux intrants utilisés. Ainsi, les effets à court et à long terme des composts sur la disponibilité des éléments nutritifs varient d'un compost à un autre. Des analyses chimiques du contenu en carbone total, en azote, en phosphore et en potassium permettent d'obtenir des informations concernant le potentiel de disponibilité de ces éléments dans un compost donné (Dick et McCoy, 1993).

La période d'application du compost peut également influencer les effets de ce dernier au niveau du sol. La période idéale d'application des composts n'est pas vraiment définie. Pour obtenir le maximum d'effet des éléments fertilisants solubles du compost, l'application doit se faire au printemps (Dick et McCoy, 1993). Toutefois, l'application de compost immature précédant le semis peut occasionner des dommages dus à la présence d'acides organiques au sein de ces composts et à la possibilité d'immobilisation d'azote. Par ailleurs, l'application du compost à l'automne permet une meilleure minéralisation de ce dernier (Dick et McCoy, 1993).

Les méthodes d'application des composts ont été évaluées dans de nombreuses études. Certaines études concluent que la façon d'appliquer le compost ne semble pas influencer son efficacité. Une étude portant sur l'effet de l'utilisation de plusieurs types de compost sur la croissance des carottes conclut que l'application en surface des composts est aussi bénéfique que son incorporation et que l'application des composts sur une longue période (8 ans) améliore de façon significative les caractéristiques des sols (Jakobsen, S.T., 1995; O'Brien et Barker, 1995).

Dick et McCoy, (1993), quant à eux, différencient les méthodes d'application et les effets de celles-ci sur le sol. Selon eux, l'application en surface du compost favorise l'amélioration de la structure des sols et réduit les phénomènes de lessivage et d'érosion, comparativement à la méthode d'incorporation des composts. L'application en surface du compost permet également d'éviter la compétition pour l'azote entre la plante et les microorganismes dans la zone racinaire. Par ailleurs, selon eux, l'incorporation des composts (25 à 27 cm) assure une meilleure productivité.

Le taux d'application des composts peut varier mais se situe généralement entre 25 et 100 t/ha. Ces taux semblent combler les besoins en azote des cultures, sans nuire à l'environnement (Dick et McCoy, 1993). Des taux d'application annuels entre 25 et 100 t/ha doivent toutefois être bien contrôlés afin d'éviter une accumulation excessive d'un élément dans le sol, causant un déséquilibre dans la nutrition des plantes. Une application excessive de compost peut, de son côté, nuire aux propriétés physiques et chimiques des sols (teneur en eau excessive, contenu en métaux lourds trop élevé, etc.). Il semble également que l'application de plusieurs petites quantités de compost durant l'année est préférable à l'application d'une importante quantité, une seule fois par année (Dick et McCoy, 1993).

Finalement, la texture, la teneur en oxygène, la teneur en eau, le pH et la température du sol influencent également les effets d'un compost (Pedneault, 1994a).

3.3 AUTRES BÉNÉFICES

Les bénéfices agronomiques constituent le point de mire de l'étude. Toutefois, il existe également des bénéfices environnementaux, économiques et sociaux associés au compostage et au compost. Au niveau des bénéfices environnementaux, notons la diminution des volumes de résidus organiques à éliminer. Selon une étude réalisée par CHAMARD-CRIQ-ROCHE (2000), les matières putrescibles représentent plus de 40 %, en poids, de l'ensemble des matières résiduelles générées par le secteur résidentiel. Selon cette même étude, le potentiel de mise en valeur des matières résiduelles produites par le secteur résidentiel, au moyen du compostage, est de 75 %.

Une diminution de la quantité de matières putrescibles à éliminer entraînerait des impacts positifs liés aux lieux d'enfouissement sanitaire soit, l'extension de la durée de vie utile de ces sites qui sont de plus en plus coûteux et difficiles à implanter ainsi que la réduction des risques environnementaux, reliés aux lixiviats, pour l'eau de surface et souterraine. De plus, la diminution de l'enfouissement des matières putrescibles signifie une réduction des quantités de méthane produites, donc la protection du climat (SOLINOV, 2001). Le méthane est effectivement 63 fois plus dommageable que le dioxyde de carbone produit lors du compostage. De façon globale, le compostage implique une réutilisation saine des résidus organiques en les valorisant et en les réintroduisant dans le milieu. Également, le sol arable est prélevé en plusieurs endroits pour la fabrication de terreaux. L'utilisation accrue des composts diminuerait ce besoin et conserverait cette couche de sol de qualité.

Les bénéfices économiques reliés à la pratique du compostage sont, entres autres, en lien avec la durée de vie prolongée des lieux d'enfouissement sanitaire. Des économies sont effectuées également par les municipalités au niveau des coûts de collecte, de transport et d'élimination des déchets et par les producteurs agricoles au niveau des montants consacrés à l'achat d'engrais chimiques (Tadese et Gemeda, 1996; SOLINOV, 2001).

De plus, au Québec, le compostage est une industrie en plein essor. La fabrication et la vente de composts font partie des activités économiques québécoises et sont sources d'emploi.

3.4 AUTRES UTILISATIONS

Les utilisations potentielles du compost sont multiples. Outre en agriculture et en horticulture, les composts peuvent être utilisés dans des programmes de revégétation et de biorestauration de sites dégradés ou contaminés, pour la stabilisation de pentes, comme milieu filtrant en biofiltration ou comme absorbant. Bref, les composts peuvent

être utilisés pour améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols altérés ou autres matrices.

Le compost est utilisé au États-Unis, par les Départements des transports (DOT), en bordure des autoroutes dans des projets de revégétation, de remblaiement et de contrôle de l'érosion (Anonyme, 2000b; McCoy et Cogburn, 2001). Le compost, ayant une grande capacité d'absorber l'eau de pluie, empêche le lessivage des sols en bordures des autoroutes (Codner, 2001). L'érosion des pentes peut être une source de pollution diffuse. L'utilisation du compost permet à la végétation de s'établir de façon dense et par conséquent à l'eau de pluie de s'infiltrer dans le sol de façon uniforme. De plus, des projets visant le contrôle de l'érosion des sols en bordure des autoroutes ont démontré que l'utilisation de compost est moins coûteuse comparativement aux moyens utilisés habituellement (installation de toiles) (Tyler, 1996; McCoy et Cogburn, 2001).

Les composts sont également utilisés afin d'améliorer les propriétés des sols contenant des niveaux toxiques de métaux lourds, de produits pétroliers ou ayant des valeurs extrêmes de pH. En effet, l'utilisation de compost permet de neutraliser l'acidité des sols et d'en augmenter le pH (Dick et McCoy, 1993; Eghball, 1999). Les composts sont utilisés également comme barrière humide autour des piles de résidus miniers afin de contrôler le drainage minier acide (Munn et Murray, 1999). Le compost permet d'absorber les lixiviats acides issus des piles et d'en neutraliser l'acidité.

Une étude a démontré que l'application de composts et de chaux sur un sol ayant une contamination sévère en zinc permet de redistribuer le zinc d'une forme échangeable à une forme oxyde, le rendant ainsi moins disponible (Shuman et Li, 1997). L'ajout de compost à des sols contaminés au plomb a également permis de réduire les formes disponibles de plomb au niveau des sols amendés (Chaney et Ryan, 1994). Par ailleurs, l'addition de compost à un sol contaminé au mazout a diminué le pourcentage de mazout extractible et a augmenté la minéralisation du mazout sous forme de CO_2 (Joergensen et coll., 1997). Les microorganismes du compost dégradent et métabolisent les contaminants du sol, les transformant en humus et en sous-produits inertes (CO_2, eau et sels).

La matière organique des composts a également la capacité de fixer les pesticides, ce qui en diminue la concentration effective dans les sols. De plus, les composés organiques potentiellement toxiques sont soit détruits durant le compostage ou soit complexé fortement au compost, réduisant leur disponibilité aux plantes (Chaney, 1996).

Le compost permettrait également la dégradation des résidus de pesticides au niveau des sols. Une étude a tenté de démontrer que la croissance de plantes, combinée à

l'addition de compost pouvaient accélérer la dégradation des résidus d'herbicide au niveau des sols (Cole et coll., 1995). Ces essais en serre ont démontré que la croissance du maïs de même que la population microbienne étaient significativement augmentées dans le sol contaminé supplémenté de compost. L'activité de la déshydrogénase dans le sol supplémenté était de 10 à 30 fois supérieure au témoin qui avait eu l'ajout de sol non contaminé. Les concentrations en trifluraline ont diminué dans les essais où il y avait eu une croissance de plantes (dans le témoin et le sol amendé de compost) et la dégradation complète du métolachlore a été réalisée dans les essais en présence de plantes et dans l'essai contenant 50 % de compost et l'absence de croissance de plantes.

L'ajout de compost (10 %, en volume) à un sol contaminé par un herbicide (Dicamba) a également permis de réduire la quantité de cet herbicide de 3 000 ppm à un taux en dessous de limites de détection et ce, en 50 jours (Cole et coll., 1995). Selon les auteurs, cet herbicide peut être dégradé dans un sol non amendé de compost, mais une dégradation complète prendra alors plusieurs années, comparativement à 50 jours avec l'utilisation de compost.

Les composts peuvent également être utilisés pour la biorestauration de sols contaminés par des produits pétroliers. Lors d'une étude consistant à traiter un sol contaminé au carburant d'avion, le sol contaminé a été mélangé à du compost (20 %, en volume). Les champignons, présents dans le compost, ont brisé les hydrocarbones du carburant et ceux-ci ont été métabolisés par les bactéries du compost (Fordham, 1995).

Certains sites de compostage utilisent un biofiltre pour traiter les odeurs. Le compost entre alors dans la composition du milieu filtrant (Tyler, 1996). Le compost peut également servir pour traiter des composés organiques volatils. Matteau et Ramsay (1997) ont traité de l'air contaminé au toluène pendant le compostage de feuilles et de luzerne. Le taux de dégradation était à son maximum lors de la phase thermophile mais le compost mature était également efficace. Lors d'une autre étude, des efficacités de près de 100 % ont été obtenues pour le traitement de l'hydrogène sulfuré (Yang et Allen, 1994). De l'eau contaminée par des composés organiques volatils a également été traitée par biofiltration avec du compost. Des efficacités de 70 %, 80,5 % et 100 % ont été atteintes pour le chlorobenzène, le toluène et les terpènes, respectivement. L'efficacité au niveau du tetrachloroéthylène, du dimethylsulfide et du benzène était supérieure à 85 % (Bohnke et Eitner, 1983).

D'autres applications du compost, moins répandues par contre, sont également possibles telles que l'utilisation du compost comme absorbant et comme combustible.

3.5 UTILISATION POTENTIELLE DES COMPOSTS COMME SUBSTITUT AUX ENGRAIS MINÉRAUX

Au Québec, l'achat d'engrais minéraux par les exploitants agricoles représente, bon an mal an, une dépense annuelle de plus de 160 millions de dollars (MAPAQ, 2000). La quantité d'engrais chimiques vendus au Québec a été, pour l'année se terminant le 30 juin 2000, de 429 932 tonnes. Elle était de 445 995 tonnes en 1998-1999 et de 459 238 tonnes en 1997-1998. Pour la période 1997-1998, le tonnage total vendu comprenait 96 464 tonnes d'azote, 58 314 tonnes de phosphate et 68 540 tonnes de potasse (Korol et Rattray, 1999; 2000 et 2001). D'une année à l'autre cette proportion est à peu près la même.

En 1998, le Conseil canadien du compostage a réalisé un sondage national sur les opérations de compostage de déchets solides au Canada (Conseil canadien du compostage, 1998). Ce sondage visait entre autres à déterminer la quantité de compost produit dans chacune des provinces canadiennes. Au Québec, la quantité de compost produit par 49 installations de compostage était alors de 257 000 tonnes sur une base humide. Il s'agit de la donnée la plus récente et la plus fiable sur la production de compost au Québec même si cette donnée ne comprend pas le compost généré à la ferme, alors qu'au Québec plus de 400 fermes produisent leur propre compost (Robitaille, 1993). Pour les besoins de la présente étude, nous allons considérer 1998 comme l'année de référence.

En utilisant une formulation moyenne, en azote, en phosphate et en potasse, pour les composts, il est possible d'évaluer la quantité de compost qui serait équivalente pour ce qui est des éléments majeurs ($N - P_2O_5 - K_2O$), aux quantités totales d'engrais écoulés annuellement au Québec. La formulation moyenne en azote-phosphate-potasse retenue pour les composts est de 1,5-1,5-1. Ces chiffres proviennent d'une moyenne mathématique effectuée à partir des données fournies par Côté et Potvin (1994) et par Charbonneau et coll. (2001). Nous considérons donc que le compost moyen contient, sur une base sèche, 1,5 % de N, 1,5 % de P_2O_5 et 1 % de K_2O.

En supposant que les composts utilisés au Québec possèdent en moyenne une teneur en eau de 60 %, il aurait fallu utiliser 16 077 333 tonnes de compost (base humide) pour combler les 96 464 tonnes d'azote minéral achetées au Québec lors de l'année de référence. Pour combler les besoins de 58 314 tonnes de phosphate minéral, la quantité de compost requise aurait été de 9 719 000 tonnes sur base humide alors que les besoins de 68 540 tonnes de potasse minérale auraient nécessité l'utilisation de 17 135 000 tonnes de compost.

Ces chiffres sont basés sur plusieurs hypothèses et ils sont fournis à titre purement indicatif d'autant plus que le marché des engrais ne peut être considéré comme un marché potentiel pour les composts. Tout d'abord, le compost n'est pas un engrais mais bien un amendement. Il n'est pas envisageable de remplacer complètement les engrais minéraux par le compost. Toutefois, le compost peut faire diminuer les quantités d'engrais chimiques utilisées et même optimiser leur utilisation, en diminuant les pertes d'éléments nutritifs et en améliorant les conditions du sol. Par ailleurs, des coûts relativement importants sont reliés à l'achat des composts. La plupart des producteurs agricoles refusent de débourser de tels montants pour améliorer leurs sols, en plus des coûts reliés à l'achat des engrais chimiques. Toutefois, en considérant les multiples avantages associés à leur utilisation, il devient avantageux à tous les niveaux d'utiliser le compost.

En zone agricole en surplus, les fumiers doivent être épandus en priorité sur les engrais et sur les matières résiduelles fertilisantes, dont les composts. Sur le territoire québécois, 425 municipalités sont dans une situation où les apports de phosphore, par les fumiers, sont en excédant sur le prélèvement des plantes (Vallée et coll., 2001). L'utilisation des composts comme amendement ne peut donc être envisagée par ces municipalités, qui représentent la concentration de la production agricole. Toutefois, d'autres terres seraient en mesure d'être amendées en compost, mais l'apparente contrainte économique fait que peu de producteurs agricoles vont dans ce sens.

4. CONCLUSION

Les bénéfices agronomiques liés à l'utilisation des composts sont nombreux. C'est en améliorant les propriétés physiques et chimiques et en stimulant l'activité biologique que les composts favorisent la fertilité des sols; l'avantage principal à utiliser le compost étant directement relié à son contenu en matière organique et à sa capacité à générer de l'humus.

Le compost améliore les propriétés physiques des sols en favorisant la formation d'agrégats, ce qui améliore la structure, diminue les risques de compaction et réduit l'érosion éolienne et hydrique. Il augmente également la capacité de rétention en eau, ce qui permet une meilleure résistance des sols à la sécheresse, et optimise la porosité, les échanges gazeux, le drainage, l'aération et le réchauffement des sols.

Les composts améliorent également les propriétés chimiques des sols en augmentant la capacité d'échange cationique et anionique, en élevant le pouvoir tampon des sols, en stockant et en fournissant graduellement des éléments nutritifs aux plantes et en

accroissant l'efficacité des fertilisants chimiques. De plus, le compost stimule l'activité biologique globale des sols, est une source de nourriture minérale et organique pour la microfaune et les végétaux et contribue à des phénomènes tels que la phytoprotection contre certaines infections et la lutte aux mauvaises herbes.

Tous les avantages relatés dans ce document s'appliquent aux milieux agricole (élevages, grandes cultures, horticulture) et municipal (commerce de détail, aménagement paysager et espaces verts). Tous les utilisateurs bénéficient d'une façon ou d'une autre des propriétés des composts. Toutefois, certains débouchés sont toujours à explorer, entre autres, une utilisation plus massive et systématique des composts dans les ouvrages routiers (revégétation, remblai et contrôle de l'érosion).

L'agriculture est un grand consommateur d'éléments fertilisants, donc un marché potentiel important pour le compost. Utilisé principalement comme amendement organique, le compost ne peut remplacer complètement les engrais minéraux utilisés en agriculture. Toutefois, l'utilisation du compost peut permettre de réduire les quantités d'engrais chimiques utilisées et même d'accroître l'efficacité de ceux-ci, de même que les rendements.

Au Québec, les efforts sont de plus en plus concertés afin de sensibiliser la population à la protection de l'environnement et à la conservation des ressources. Des actions concrètes sont posées et la promotion du compostage fait partie des objectifs permettant d'améliorer la gestion des matières résiduelles. Les nombreux avantages associés à l'utilisation des composts font du compostage un outil essentiel à la valorisation des matières putrescibles et à l'atteinte des objectifs du Plan d'action québécois sur la gestion des matières résiduelles (1998-2008).

5. BIBLIOGRAPHIE

Anonyme (1996). *Compost Teas in Agriculture*. Biocycle, 37 (12): 65-67.

Anonyme (1999). *CSA Farms Use Compost to Enhance Soil*. Biocycle, 40 (2): 6.

Anonyme (2000a). *Composted Manures Offer Yield and Disease Resistance Benefi*ts. Countryside and Small Stock Journal, 84 (4): 64-66.

Anonyme (2000b). *Composting Takes Manure from the Feedlot to the Highway*. Biocycle, 41 (6): 22-23.

Anonyme (2001). *Compost Boosts Effectiveness of Weed Suppressing Microbes*. Biocycle, 42 (01): 8.

Antoun, H. (1986). *Science du sol*. Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Département des sols. Notes de cours.

Baziramakenga, R. et R.R. Simard (1998). *Low Molecular Weight Aliphatic Acid Contents of Composted Manures*. Journal of Environmental Quality, 27 (3): 557-561.

Baziramakenga, R. et R.R. Simard (2001). *Effect of Deinking Paper Sludge Compost on Nutrient Uptake and Yield of Snap Bean and Potatoes Grown in Rotation*. Compost Science and Utilization, 9 (2): 115-126.

Bazzoffi, P., S. Pellegrini, A. Rocchini, M. Morandi et O. Grasselli (1998). *The Effect of Urban Refuse Compost and Different Tractors Tyres on Soil Physical Properties, Soil Erosion and Maize Yield*. Soil and Tillage Research, 48 (4): 275-286.

Benali, M., R.R. Simard, A.C. Cambouris et M.C. Nolin (1999). *Phosphorus Pools as Influenced by Papermill Compost*. Proc. Soil Sci. Soc. Am. An Meeting, Salt-Lake City, UT.

Bohnke, B. et D. Eitner (1983). *Investigation and Comparison of Different Kinds of Compost in a Mobile Biofilter.* Guachten I. A. der AG Kompostabsatz NM. Aachen, W. Germany.

Bordeleau, L.M. (1999). *L'usage du compost restaure la biodiversité dans les sols agricoles*. Bio-Bulle, 19 : 20-24.

Boulter, J.I., G.J. Boland et J.T. Trevors (1999). *Evaluation of Compost for Biological Control of Dollar Spot (Scleotinia homoeocarpa) on Creeping Bentgrass (Agrostis palustris).* Annual Meeting of the American phytopathological Society, Montréal, Québec, *Phytopathology*, 89 (6).

Bruns, C., S. Ahlers, A. Gattinger, C. Schüler, H. Vogtmann et G. Wolf (1996). *The Science of Composting*. Part 2, pp. 1094-1095.

Bureau de normalisation du Québec (1997). *Norme nationale du Canada : amendements organiques – composts.* CAN/BNQ 0413-200, 25 p.

CHAMARD-CRIQ-ROCHE (2001). *Caractérisation des matières résiduelles au Québec*. 213 p.

Chaney, R.L. et J.A. Ryan (1994). *Risk Based Standards for Arsenic, Lead and Cadmium on Urban Soils*. Frankfort: Dechema.

Chaney, R.L. (1996). *Plant Nutrition and Heavy Metal Aspects of Compost Use*. Hortscience, 31 (4).

Charbonneau, H., M. Hébert et A. Jaouich (2001). *Portrait de la valorisation agricole des Matières résiduelles fertilisantes au Québec, Partie 2 : Contenu en éléments fertilisants et qualité environnementale*. Vecteur environnement, 34 (1) : 56-60.

Codner, S. (2001). *Iowa Studies Ways to Control Highway Erosion*. Biocycle, 42 (3) : 42.

Cohen, R., B. Chefetz et Y. Hadar (1998). *Suppression of Soil-Borne Pathogens by Composted Municipal Solid Waste*. 113-130. Dans : Beneficial Co-Utilization of Agricultural, Municipal and Industrial By-Products. Kluwer Academic Publisher. Brown, S., J. S. Angle, L. Jacobs.

Cole, M.A., X. Liu et Z. Liu (1995). *Effect of Compost Addition on Pesticide Degradation in Planted Soils*. Bioremediation of Recalcitrant Organics, 7 (8): 183.

Conseil canadien du compostage (1998). Enquête nationale sur les opérations de compostage au Canada. AQIC 13 p.

Côté, L. et D. Potvin (1994). *Caractérisation de certains composts commerciaux disponibles au Québec*. Rapport présenté au Consortium québécois sur le développement du compostage au Québec. Centre de recherche industrielle du Québec. 19 p.

Côté, L., S. Cantin et M.-A. St-Pierre (1998). *Étude d'orientation en matière de compostage au Québec*. Centre de recherche industrielle du Québec, 23 p.

Dick, W.A. et E.L. McCoy (1993). *Enhancing Soil Fertility by Addition of Compost*. Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. Harry A. J. Hoitink et Harold M. Keener (Éditeurs), Wooster, Ohio, pp. 622-644.

Eghball, B. (1999). *Liming Effects of Beef Cattle Feedlot Manure or Compost*. Communications in Soil Science and Plant Analysis*,* 30 (19-20): 2563-2570.

Erhart, E., K. Burian, W. Hartl et K. Stich (1999). *Suppression of Pythium Ultimum by Biowaste Composts to Compost Microbial Biomass, Activity and Content of Phenolic Compounds.* J. Phytopathology, 147: 299-305.

Ezelin de Souza, K. et J.C. Revel (1998). *Contribution à la valorisation de la bagasse par compostage biologique et chimique*. Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, France, 390 p.

Fordham, W. (1995). *Yard Trimmings Composting in the Air Force*. Biocycle, 36: 44.

Gagnon, B., R. Robitaille et R. Simard (1998). *Est-ce qu'il est bon mon compost ? (2^{e} partie).* Bio-Bulle, 14, pp. 25-27.

Hardy, G.E. St. J. et K. Sivasithamparam (1995). *Antagonism of Fungi and Actinomycetes Isolated from Composted Eucalyptus Bark to Phytophtora drechsleri in a Steamed and Non-Steamed Composted Eucalyptus Bark-Amended Container Medium*. Soil Biol. Biochem, 27 (2): 243-246.

Hoitink, H.A.J., A.G. Stone et D.Y. Han (1997). *Suppression of Plant Diseases by Composts.* Hortscience, 32 (2): 184-187.

Hountin, J.A., A. Karam et L.E. Parent (1995). *Effect of Peat Moss-Shrimp Wastes Compost on the Growth of Barley (Hordeum vulgare L.) on a Loamy Sand Soil.* Communication in soil science and plant analysis, 26 (19-20): 3275-3289.

Ibrahim, S. et H. Shindo (1999). *Effect of Continuous Compost Application on Water-Stable Soil Macroaggregation in a Field Subjected to Double Cropping.* Soil Science and Plant Nutrition, 45 (4): 1003-1007.

Idinger, J. et Kromp, B. (1997). *Ground Photoelector Evaluation of Different Arthropod Groups in Unfertilized, Inorganic and Compost-Fertilized Cereal Fields in Eastern Austria*. Entomological Research in Organic Agriculture, pp. 171-176.

Jakobsen, S.T. (1995). *Aerobic Decomposition of Organic Wastes 2 - Value of Composts as Fertilizer*. Resour. Conserv. Recycl., 13 (1): 57.

Joergensen, R.G., R.M. Figge et L. Kupsch (1997). Z. Pflanzenernahr. Bodenk., 160, pp.21-24.

Karlen, D.L., Wright, R.J. et Kemper, W.O. (1995). *Agriculture Utilization of Urban and Industrial By-Products*. ASA Special Publication, numéro 58, pp. 19-72.

Korol, M. et G. Rattray (1999). *Consommation, livraison et commerce des engrais au Canada 1997 – 1998.* Agriculture et Agroalimentaire Canada, Direction générale des politiques stratégiques.

Korol, M. et G. Rattray (2000). *Consommation, livraison et commerce des engrais au Canada 1998 – 1999.* Agriculture et Agroalimentaire Canada, Direction générale des politiques stratégiques.

Korol, M. et G. Rattray (2001). *Consommation, livraison et commerce des engrais au Canada 1999 – 2000.* Agriculture et Agroalimentaire Canada, Direction générale des politiques stratégiques.

Lalande, R., B. Gagnon et R.R. Simard (1998). *Microbial Biomass C and Alkaline Phosphatase Activity in Two Compost Amended Soils*. Canadian Journal of Soil Science, 78 (4): 581-587.

Ligneau, L.A. et T.A. Watt (1995). *The Effects of Domestic Compost upon the Germination and Emergence of Barley and Six Arable Weeds*. Ann. Appl. Biol., 126: 153-162.

Loschinkohl, C., J.W. Rimelspach et M.J. Boehm (1999). *The Impact of Compost Soil Amendment on Fungal Diseases of Turfgrass*. Phytopathology, 89 (6S): S46-S47.

MAPAQ (1990). *Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec. Rapport synthèse*. Entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement agroalimentaire. 72 p.

MAPAQ (2000). *Profil des exploitations agricoles en 1997*. Direction de la sécurité du revenu agricole. 125 p.

Matteau, Y. et B. Ramsay (1997). *Active Compost Biofiltration of Toluene*. Biodegradation, 8 (3): 135-141.

Maynard, A. A. et D.E. Hill (2000). *Leaf Compost Suppresses Disease, Improves Onion Yields*. Biocycle, 41 (5): 69-71.

McCoy, S. et B. Cogburn (2001). *Texas Makes Inroads with Highway Use of Compost*. Biocycle, 42 (2): 67-70.

MEF (1998). *Plan d'action québécois sur la gestion des matières résiduelles 1998-2008.* Ministère de l'Environnement et de la Faune, 56 p.

Mesquitas Dos Santos, M.C., A.A.G. Réfega et R.M.B. Ganho (1996). *Agricultural Use of City Refuse Compost.* Fertilizers and Environment, pp.533-537.

Mohler, C.L. (1995). *A Living Mulch (White Clover)/Dead Mulh (Compost) Weed Control System for Winter Squash.* Proceedings of the Forty-Ninth Annual Meeting of the Northeastern Weed Science Society, Boston, Massachusetts, USA, pp. 5-10.

Munn, D. et F. Murray (1999). *Reclaiming Acid Mine Soil with Drywall and Manure*. Biocycle, 40 (10): 59-60.

Mustin, M. (1987). *Le compost*. François Dubusc, Paris, France. 954 p.

Nakasaki, K., S. Hiraoka et H. Nagata (1998). *A New Operation for Producing Disease-Suppressive Compost from Grass Clippings*. Applied and environmental Microbiology, 64 (10): 4015-4020.

N'Dayegamiye, A. (2000). *Valeur agronomique des biosolides de papetières : effet sur la production des cultures et la qualité des sols*. Colloque sur les biosolides. Les biosolides : une richesse pour nos sols. Montebello, 16 et 17 mars 2000. pp. 22-44.

Nogales, R., M.D. Mingorance, C. Elvira et E. Benitez (1996). *Agricultural Use of Municipal Solid Waste Composts and Vermicomposts : Effect on Soil Properties*. Orcazette, 4 (3): 5-8.

O'Brien, T. et A.V. Barker (1995*). Evaluation of Field-Applied Fresh Composts for Production of Sod Crops.* Compost Science and Utilization, 3 (3): 53-65.

Ozores-Hampton, M. (1998). *Compost as an Alternative Weed Control Method*. HortScience, 33 (6): 938-940.

Pascual, J. A. (2000). *The Use of Compost for the Biological Pest Control - An Alternative for Pesticides*. Residuos, 52: 88-92.

Paulitz, T.C. et M. Paré (1995). *Plant Pathogens in: A Program to Assess the Impacts and Benefits of Composted Source-Separated Solid Wastes Applied to Agricultural Lands.* National Agricultural Compost Trial, p. 18.

Pedneault, A. (1994a). *Les effets du compost dans le sol*. Québec Vert, Octobre 1994, pp. 11-16.

Pedneault, A. (1994b). *Les effets du compost sur les plantes.* Québec Vert, Octobre 1994, pp. 18-20.

Perucci, P. (1990). *Effect of the Addition of Municipal Solid Waste Compost on Microbial Biomass and Enzymes Activities in Soil*. Biology and Fertility of soil, 10: 221-226.

Potvin, D. et Y. Bernard (1995). *Recherche de techniques de compostage adaptées à une gestion optimale des fumiers*. Consortium québécois sur le compostage.

Preusch, P.L. et T.J. Tworkoski (2000). *Weed Suppression and N and P Mineralization in an Orchard Mulched with Composted Poultry Litter*. Hortscience*,* 35 (3): 419.

Rangarajan, A. (1998). Compost for Nutrients and Other Benefits. Proceedings of the New-York State Vegetable Conference, pp. 134-135.

Raviv, M. (1998). *Horticultural Uses of Composted Material*. Acta Hort., 469: 225-234.

Robitaille, R. (1993). *Inventaire des producteurs agricoles qui font ou utilisent du compost à la ferme au Québec*. Pour le Centre d'agriculture biologique, en collaboration avec les répondants en agriculture biologique du MAPAQ.

Sanchez, L. , J.A. Diez, A. Polo et R. Roman (1997). *Effect of Timing of Application of Municipal Solid Waste Compost on N Availability for Crops in Central Spain*. Biology and Fertility of Soils, 25 (2): 136-141.

Serra-Wittling, C., S. Houot et C. Alabouvette (1996). *Increased Soil Suppressiveness of Fusarium Wilt of Flax after Addition of Municipal Solid Waste Compost*. Soil Biology and Biochemistry, 28 (9): 1207-1214.

Serra-Wittling, C., C. Alabouvette, S. Houot et F. Rouxel (1997). *Suppressiveness of Municipal Solid Waste Composts to Plant Diseases Induced by Soilborne Pathogens*. Modern Agriculture and the Environment, pp.373-381.

Shiralipour, A., P.B. Leege, K.M. Portier (1998). *Using Compost Products in Vegetable Production. 363-375. Beneficial Co-Utilization of Agricultural, Municipal and Industrial By-Products.* Kluwer Academic Publisher. Brown, S., J. S. Angle, L. Jacobs.

Shuman, L.M. et Z. Li (1997). *Amelioration of Zinc Toxicity in Cotton Using Lime or Mushroom Compost.* Journal of Soil Contamination, 6 (4): 425-438.

Sikora, L.J. et N.K. Enkiri (1999). *Growth of Tall Fescue in Compost/Fertilizer Blends*. Soil Science, 164 (1) : 62-69.

Simard, R.R., J. Coulombe, R. Lalande, B. Gagnon et S. Yelle (1998). *Use of Fresh and Composted Deinking Sludge in Horticultural Production*. S. Brown, J. S. Angle and L. Jacobs (éditeurs). *Beneficial Co-utilization of Agricultural, Municipal and Industrial By-products.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, pp. 349-361.

Simard, R.R., R. Lalande, B. Gagnon et G. Parent (1999). *Beneficial Use of Paper-Mill Residue Compost in a Potato/Spring Wheat Rotation*. P. R. Warman et B. R. Taylor (éditeurs). Proceeding of ICS '99*.* pp 716-736.

Simard, R.R., J. Lafond et R. Lalande (2000). *Les résidus papetiers: mode d'usage horticole.* Colloque sur les biosolides. Les biosolides : une richesse pour nos sols*.* Montebello, 16 et 17 mars 2000, pp. 45-68.

SOLINOV (2001). *À la portée de tous, le compostage*. Réalisé dans le cadre du Programme de soutien au compostage*,* 74 p.

Stoffella, P.J., M. Ozores-Hampton et D.T. Patterson (2000a). *Potential of Municipal Solid Waste Compost as a Biological Weed Control.* Acta Hort., 533: 211-213.

Stoffella, Peter J. et D.A. Graetz (2000b*). Utilization of Sugarcane Compost as a Soil Amendment in a Tomato Production System*. Compost Science and Utilization*,* 8 (3): 210-214.

Sullivan, D.M., S.C. Fransen, A.I. Bary et C.G. Cogger (1998). *Fertilizer Nitrogen Replacement Value of Food Residuals Composted with Yard Trimmings, Paper or Wood Wastes*. Compost Science and Utilization, 6 (1): 6-18.

Suzuki, M., K. Kamekawa, S. Sekiya et H. Shiga (1990). *Effect of Continuous Application of Organic and Inorganic Fertilizer for Sixty Years on Soil Fertility and Rice Yield in Paddy Field.* Transactions of the 14th International Congress of Soil Science, Volume IV, Kyoto, Japon, pp. 14-19.

Tadese, Y. et A. Gemeda (1996). *Effect of Compost and NP Fertilizer on Growth and Yield of Maize and Pepper.* Proceedings of Ethiopia Society of Soil Science, pp. 135-140.

Tomati, U., E. Galli, F. Fiorelli, et L. Pasetti (1996). *Fertilizers from Composting of Olive-Mill Wastewaters*. Int. Biodeterior. Biodegrad., 38, (3-4): 155-162.

Tyler, R.W. (1996). *Winning the Organics Game – The Compost Marketer's Handbook.* ASHS Press, Alexandria, VA.269 p.

Van Bruggen, A.S. et T.L.J. Duineveld (1995). Proceedings of a Workshop on Biological and Integrated Control of Root Diseases in Soiless Cultures, Dijon, France, pp.184-188.

Valenzuela, H.R. et R. Hamasaki (1995). *Effect of Composts and Synthetic Nitrogen Fertilizer on Growth and Nematode Infestation in Lettuce and Basil*. Hortscience, 30 (4).

Vallée, P., J. Roy et C. Emond (2001). *Les surplus de déjections animales au Québec : problématique environnementale et éléments de solution*. Communication pour la journée d'information scientifique et technique en génie agroalimentaire. 20 p.

Wickland, L., T. Murray et J. Jimerson (2001). *Brewing Up Solutions to Pest Problems*. Biocycle, 42 (3): 64-66.

Yang, Y. et E.R. Allen (1994). *Biofiltration Control of Hydrogen Sulfide 2. Kinetics, Biofilter Performance and Maintenance*. Journal of Air and Waste Management Association. 44: 1315-1321.

Zinati, G. (2000). *Finding an Alternative to the Methyl Bromide System*. Biocycle, 41 (8): 66-67.

ANNEXE A

TABLEAU SYNTHÈSE DES BÉNÉFICES ET UTILISATIONS ASSOCIÉES AUX COMPOSTS

CRIQ
CENTRE DE RECHERCHE
INDUSTRIELLE DU QUÉBEC

BÉNÉFICES AGRONOMIQUES	**PHYSIQUES**	➜ Formation d'agrégats ↘ amélioration de la structure ↘ diminution des risques de compaction ↘ réduction de l'érosion éolienne et hydrique ➜ Capacité de rétention en eau ↘ meilleure résistance des sols à la sécheresse ➜ Amélioration de la porosité ➜ Amélioration des échanges gazeux ➜ Amélioration du drainage ➜ Amélioration de l'aération ➜ Favorise le réchauffement des sols ➜ Amélioration des propriétés mécaniques
	CHIMIQUES	➜ Amélioration de la capacité d'échange cationique et anionique ➜ Amélioration du pouvoir tampon ➜ Disponibilité des éléments sur une longue période ➜ Rétention des éléments ➜ Accroissement de l'efficacité des fertilisants chimiques ➜ Chélation et disponibilité des oligo-éléments
	BIOLOGIQUES	➜ Stimulation de la microfaune ➜ Phytoprotection ➜ Lutte aux mauvaises herbes
AUTRES BÉNÉFICES	**ENVIRONNEMENTAUX**	➜ Diminution des volumes de résidus organiques à éliminer ↘ extension de la vie utile des LES ↘ diminution des risques reliés aux lixiviats ↘ diminution des quantités de méthane produites ➜ Diminution du prélèvement de sol arable
	ÉCONOMIQUES	➜ Durée de vie prolongée des LES ➜ Économies dans les coûts de collecte, transport et élimination des déchets ➜ Diminution des montants consacrés à l'achat d'engrais chimiques
	SOCIAL	➜ Création d'emplois
AUTRES UTILISATIONS		➜ Revégétation, remblaiement, biorestauration ➜ Contrôle de l'érosion, stabilisation des pentes ➜ Biofiltration, absorbant, combustible